

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**  
**SEDE QUITO**

**CARRERA:**  
**INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:**  
**INGENIERO ELECTRÓNICO**

**TEMA:**  
**DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN WISP WIRELESS INTERNET SERVICE  
PROVIDER PARA LA CIUDAD DE PEDERNALES EN MANABÍ ECUADOR**

**AUTOR:**  
**PATRICIO GERMÁNICO CAISAGUANO PÉREZ**

**TUTOR:**  
**JUAN CARLOS DOMÍNGUEZ AYALA**

**Quito, abril del 2018**

## **CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR**

Yo, Patricio Germánico Caisaguano Pérez, con documento de identificación No. 1714752811, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Trabajo de Titulación intitulado: “DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN WISP WIRELESS INTERNET SERVICE PROVIDER PARA LA CIUDAD DE PEDERNALES EN MANABÍ ECUADOR”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de Ingeniero Electrónico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



---

Patricio Germánico Caisaguano Pérez

C.I. 1714752811

Quito, abril del 2018.

## **DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR**

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación “DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN WISP WIRELESS INTERNET SERVICE PROVIDER PARA LA CIUDAD DE PEDERNALES EN MANABÍ ECUADOR”, realizado por Patricio Germánico Caisaguano Pérez, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, abril del 2018.



Juan Carlos Domínguez Ayala

CI: 1713195590

## ÍNDICE

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR.....	i
DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR.....	ii
ÍNDICE .....	iii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
ÍNDICE DE TABLAS .....	xi
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
INTRODUCCIÓN .....	xiv
<b>CAPÍTULO 1.....</b>	<b>1</b>
<b>ANTECEDENTES .....</b>	<b>1</b>
1.1 Planteamiento del problema .....	1
1.2 Justificación.....	1
1.3 Objetivos .....	2
1.3.1 Objetivo general .....	2
1.3.2 Objetivos específicos .....	2
1.4 Delimitación espacial .....	3
1.5 Grupo objetivo.....	3
1.6 Propuesta de solución .....	4
<b>CAPÍTULO 2.....</b>	<b>6</b>
<b>MARCO CONCEPTUAL .....</b>	<b>6</b>
2.1 Modelos de propagación .....	6
2.1.1 Modelos matemáticos: .....	6
2.1.2 Modelos empíricos o estadísticos: .....	6
2.1.3 Modelos teóricos: .....	6

2.1.4	Modelos deterministas .....	7
2.1.5	Modelos estocásticos.....	7
2.1.6	Modelos caja negra .....	7
2.1.7	Modelos de propagación en redes inalámbricas.....	7
2.1.8	Modelos outdoor .....	7
2.1.9	Modelo ITU-R P.1411-9 .....	9
2.1.10	Situaciones de altura .....	17
2.2	Modelo Longley-Rice.....	18
2.2.1	Modo de predicción área de cobertura .....	19
2.2.2	Modo de predicción área Punto-Punto.....	20
2.2.3	Trayectoria sin línea de vista NLOS .....	20
2.2.4	Trayectoria con línea de vista LOS .....	20
2.3	Modelo energético de transmisión.....	21
2.4	Redes inalámbricas .....	23
2.4.1	Clasificación de redes inalámbricas .....	23
2.4.2	Redes WPAN .....	23
2.4.3	Redes WLAN .....	23
2.4.4	Redes WMAN.....	24
2.4.5	Redes WWAN.....	24
2.5	Estándares Wi-Fi .....	24
2.5.1	IEEE 802.11a .....	24
2.5.2	IEEE 802.11b .....	24
2.5.3	IEEE 802.11g .....	25
2.5.4	IEEE 802.11n .....	25
2.5.5	IEEE 802.11ac.....	25
2.5.6	IEEE 802.11ad .....	26

2.6	Protocolo NV2.....	28
2.7	Infraestructura de red inalámbrica.....	29
2.7.1	Topologías Ad-Hoc.....	29
2.7.2	Topología en infraestructura .....	30
2.7.3	Topología Mesh .....	31
2.8	Elementos de red inalámbrica: .....	31
2.8.1	Dispositivos finales .....	31
2.8.2	Puntos de acceso .....	32
2.9	Modos de operación de AP .....	32
2.9.1	Modo root.....	32
2.9.2	Modo repetidor.....	32
2.9.3	Modo Puente .....	33
2.10	Seguridad en redes .....	33
2.10.1	Rendimiento .....	33
2.10.2	Fiabilidad .....	34
2.10.3	Seguridad .....	34
2.10.4	Servicios de seguridad.....	34
2.10.5	Filtrado MAC.....	35
2.10.6	Protocolos AAA.....	36
2.10.7	IPSec .....	36
<b>CAPÍTULO 3.....</b>		<b>37</b>
<b>DISEÑO DE RED .....</b>		<b>37</b>
3.1	Criterio de diseño .....	37
3.2	Tecnología .....	38
3.3	Infraestructura de red.....	39
3.4	Modelo jerárquico .....	39

3.5	Nivel 1 .....	40
3.6	Nivel 2 .....	41
3.6.1	Direccionamiento .....	42
3.6.2	Enrutamiento .....	43
3.6.3	Redirección de puertos .....	44
3.7	Nivel 3 .....	45
3.7.1	Control de ancho de banda .....	46
3.8	Nivel 4 .....	47
3.9	Área de cobertura .....	47
3.10	Radio Mobile .....	48
3.10.1	Ubicación AP .....	49
3.10.2	Ubicación clientes .....	50
3.10.3	Perfil de terreno.....	51
3.11	Parámetros técnicos equipamiento.....	52
3.12	Presupuesto de energía.....	53
3.13	Confiabilidad del enlace .....	53
3.14	Indisponibilidad del servicio.....	54
3.15	Zona de Fresnel.....	54
3.16	Proyección de demanda .....	55
<b>CAPÍTULO 4.....</b>		<b>57</b>
<b>SIMULACIÓN DE PROYECTO .....</b>		<b>57</b>
4.1	Simuladores .....	57
4.2	Cálculo y simulación de radioenlaces .....	57
4.3	Emulación de red .....	61
4.4	Configuraciones básicas .....	61
4.5	Configuración CORE ISP, .....	65

4.6	Redirección de puertos .....	66
4.7	Monitoreo de red .....	67
4.8	Configuración distribución ISP .....	69
4.9	Configuración acceso WISP.....	70
4.10	Pruebas de conectividad.....	72
4.11	Pruebas reglas de acceso.....	72
4.12	Prueba control ancho de banda .....	73
4.13	Análisis de simulación .....	73
4.14	Análisis de Rendimiento.....	76
4.15	Selección del fabricante .....	77
4.16	Análisis de costos.....	77
4.17	Elementos de interconexión.....	77
4.18	Equipamiento .....	77
4.19	Equipamiento clientes.....	78
<b>CONCLUSIONES.....</b>		<b>79</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>		<b>81</b>
<b>ANEXOS</b>		



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1.- Ciudad de Pedernales en Manabí – Ecuador .....	3
Figura 2.1.-Situaciones típicas de propagación.....	12
Figura 2.2.- Parámetros ITM modo área de cobertura .....	19
Figura 2.3.- Parámetros ITM modo área de cobertura .....	21
Figura 2.4.- Representación Modelo Energético.....	22
Figura 2.5.- Tecnologías inalámbricas por área de acción.....	26
Figura 2.6. Evolución de los estándares inalámbricos .....	27
Figura 2.7 - Red Ad-Hoc.....	29
Figura 2.8.- Topología en infraestructura .....	30
Figura 2.9.- Red topología Mesh .....	31
Figura 2.10.-Servicios de Seguridad .....	34
Figura 3.1.- Diseño jerárquico de red de WISP Pedernales .....	39
Figura 3.2.- Equipamiento de acceso a Internet provisto por NEDETEL .....	40
Figura 3.3.- Equipamiento Nivel 2 CORE WISP .....	41
Figura 3.4.- Configuración ROUTER CORE .....	42
Figura 3.5.- Configuración SWITCH CORE.....	43
Figura 3.6.- Tabla enrutamiento Router Core .....	43
Figura 3.7.- Tala enrutamiento Switch Core.....	44
Figura 3.8.- Port-Fordwarding ROUTER CORE.....	44
Figura 3.9.- Equipamiento Distribución.....	46
Figura 3.10.- Control de ancho de banda .....	46
Figura 3.11-. Equipamiento Acceso.....	47

Figura 3.12-. Patrón de radiación antena omnidireccional .....	48
Figura 3.13-. Coordenadas AP .....	49
Figura 3.14-. Ubicación AP (Pedernales) .....	49
Figura 3.15-. Ubicación CPE1 Pedernales .....	50
Figura 3.16.- Radio enlace AP-CPE1 .....	51
Figura 3.17-. Perfil topográfico y zona de Fresnel enlace AP-CPE1.....	52
Figura 3.18-. Zona de Fresnel de enlace AP-CPE1 .....	55
Figura 3.19-. Zona obertura AP Pedernales .....	55
Figura 4.1.- Interface Ingreso de datos Radio Mobile .....	58
Figura 4.2.- Interface Calculo Area de Cobertura Radio Mobile.....	59
Figura 4.3-. Zona obertura AP Pedernales .....	60
Figura 4.4-. Radio enlace AP-CPE1 Pedernales .....	60
Figura 4.5-. Zona obertura AP Pedernales .....	61
Figura 4.6-. Adición de interface Loopback (Windows) .....	62
Figura 4.7-. Configuración Cloud GNS3 .....	63
Figura 4.8.- Configuración de interface Loopback y establecimiento de ruta estática .....	63
Figura 4.9.-Topología de red de WISP .....	64
Figura 4.10-. Consolas de configuración de equipos de red .....	64
Figura 4.11-. Lista de dispositivos Mikrotik presentes en la red .....	65
Figura 4.12-. Configuración de acceso Router de Core .....	66
Figura 4.13-. Tabla enrutamiento estático Router Core.....	66
Figura 4.14-. Redireccionamiento de puertos Router Core .....	67
Figura 4.15.- Configuración Servidor DUDE .....	68
Figura 4.16.- Datos proporcionados por servidor DUDE .....	68
Figura 4.17 -. Mapa de red obtenido con DUDE .....	69

Figura 4.18-. Configuración de switch Distribución de WISP. ....	70
Figura 4.19-. Configuración de AP nivel Distribución en WISP.....	70
Figura 4.20-. Configuración AP de Acceso de WIPS, control de ancho de banda y control de acceso .....	71
Figura 4.21 -. Configuración CPE usuario final .....	71
Figura 4.22 -. Configuración reglas de Acceso.....	73
Figura 4.23.- Control de ancho de banda en AP .....	73
Figura 4.24.- Comparación entre 2,4GHz y 5GHz Frecuencia.....	74
Figura 4.25.- Comparación entre 2,4GHz y 5GHz. Perdida en espacio libre .....	74
Figura 4.26.- Comparación entre 2,4GHz y 5GHz. Ancho de Canal.....	75

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Definición de tipos de célula (ITU, 2017) .....	10
Tabla 2.2.- Entornos de funcionamiento físico .....	11
Tabla 2.3.- Coeficientes de pérdidas por trayecto para propagación bajo cubierta ...	13
Tabla 2.4.-Altura equivalente de la calle, hs (tráfico intenso) (ITU, 2017) .....	16
Tabla 2.5.- Altura equivalente de la calle, hs (tráfico ligero) (ITU, 2017) .....	17
Tabla 2.6.-Comparación de estándares inalámbricos IEEE. ....	27
Tabla 3.1.- Pool Direccionamiento IP público.....	40
Tabla 3.2.- INTERFAZ WAN .....	42
Tabla 3.3.-Parámetros equipo Transmisión .....	52
Tabla 3.4.-Parámetros equipo Recepción.....	52
Tabla 4.1.- Coordenadas de radioenlace Prueba .....	59
Tabla 4.2.- Direcciones IP Pruebas .....	72
Tabla 4.3.- Comparación frecuencias Wi-Fi .....	74
Tabla 4.4.- Pruebas de conectividad PC1.....	75
Tabla 4.5.- Pruebas de conectividad PC2.....	75
Tabla 4.6.- Pruebas de conectividad PC1.....	76
Tabla 4.7.- Costo referencial de elementos de interconexión .....	77
Tabla 4.8.- Precio referencial de equipamiento de Core.....	78
Tabla 4.9.- Precio referencial equipamiento Cliente.....	78

## **RESUMEN**

El presente trabajo tiene la finalidad de realizar un estudio de diseño y simulación de una red de un Wireless Internet Service Provider que pueda brindar el servicio de acceso a Internet en la ciudad de Pedernales en la Provincia de Manabí, Ecuador.

Uno de los objetivos del presente proyecto es reducir la brecha tecnológica, y hacer que más personas tengan el acceso apropiado hacia redes convergentes, así como a nuevos productos creando con esto de forma local la autosuficiencia, empleo y recursos que se invertirán para poder lograr un mejor posicionamiento, en especial, del turismo en esta ciudad.

El diseño de la red inalámbrica, la selección del equipamiento necesario y el área de cobertura en la que se pueda ofrecer el servicio son las necesidades por cubrir; así como los niveles de señal para ofrecer un servicio que cumpla con los requerimientos de la Arcotel.

El proyecto de diseño y simulación de la red se complementa con un estudio del costo de implementación del Core del WISP.

## **ABSTRACT**

This paper has the purpose of performing a study of the design and simulation of a network that can provide the Internet access service in the city of Pedernales in Manabí Ecuador.

One of the objectives of this project is to reduce the technological gap, and to make more people have the appropriate access to convergent networks as well as new products, thereby creating locally the self-sufficiency, employment and resources that will be invested in order to achieve a better positioning tourism in this city.

The design of the wireless network, the selection of the necessary equipment and the area of coverage in which the service can be offered are the needs to be covered as well as the signal levels to offer a service that meets the requirements of the Arcotel.

The project design and simulation of the network is complemented by a study of the cost of implementing the WISP Core.

## INTRODUCCIÓN

La Empresa SOCIEDAD CIVIL M&S TELEVISIÓN Y SERVICIOS es una empresa dedicada a la distribución de servicios de televisión por suscripción y en su afán de dar un mejor servicio a la ciudadanía necesita realizar el estudio y simulación de un Wireless Internet Service Provider WISP para la ciudad de Pedernales en la Provincia de Manabí, Ecuador.

Este proyecto en base a los requerimientos de la empresa, se presenta como una solución viable que integra los servicios de televisión con servicios de valor agregado como lo es el acceso a Internet.

El grupo objetivo al cual se pretende brindar esta solución es la ciudad de Pedernales, pues con el desastre natural ocurrido en el año 2016, el número de redes de acceso a internet se ha visto reducida, razón por la cual la empresa hace un esfuerzo para poder brindar este servicio a la ciudadanía y así mejorar la calidad de vida de la población y reducir la brecha tecnológica existente.

El proyecto de titulación se encuentra dividido en cuatro capítulos. El primer capítulo reúne información acerca de la situación inicial como son: definición de objetivos, antecedentes del planteamiento, limitación geográfica, grupo objetivo, propuesta de solución entre otros aspectos.

El segundo capítulo recopila información acerca de medios y modelos de propagación, así como también cita las principales características de las redes inalámbricas para conocer el tipo de soluciones que se pueden brindar para ofrecer el servicio de acceso a internet utilizando tecnología inalámbrica, colocando definiciones y nociones básicas acerca de los tópicos tratados.

El tercer capítulo está orientado, enteramente, a la simulación de la red inalámbrica y la implementación de los distintos servicios que un ISP puede brindar, cabe señalar

que también se hace referencia a la seguridad que se debe prestar para que la red no sufra ataques ni intromisiones.

En el cuarto capítulo se hace un análisis de la simulación realizada y las comparaciones entre el uso de distintas frecuencias de transmisión, para con este análisis elegir el fabricante con cuyos equipos se implementará el WISP, así como también se hace un estudio de un costo aproximado para el equipamiento del Core del WISP.

Todo este proyecto está orientado en ayudar a la empresa en la toma de decisiones, para su implementación inmediata, dando una solución eficaz y viable tanto en el costo como en el tiempo necesario para su realización.



# **CAPÍTULO 1**

## **ANTECEDENTES**

### **1.1 Planteamiento del problema**

Los fenómenos naturales provocaron en la ciudad de Pedernales la reducción de infraestructura en redes de acceso a Internet, la ausencia de estos servicios resulta en grandes pérdidas de espacios de bienestar de la población y de los turistas que son la principal fuente de ingresos económicos de la región.

La importancia de tener una red de acceso a Internet en la ciudad de Pedernales hace que surja la necesidad de contar con el diseño y simulación de una red de acceso a ser implementada, con lo que se tomara la decisión del tipo de tecnología a utilizar para ofrecer el servicio a la población que en este momento no cuenta con redes de acceso físicas a Internet por los fenómenos citados anteriormente.

Este proyecto tiene la intención de proponer un diseño de red inalámbrica para disminuir el tiempo de implementación y puesta en operación de la red de acceso para ofrecer el servicio de internet por parte del concesionario SOCIEDAD CIVIL M&S TELEVISION. Cuya principal motivación y esfuerzos están enfocados en contribuir a la pronta recuperación de la ciudad de Pedernales.

### **1.2 Justificación**

Los fenómenos naturales en la ciudad de Pedernales han reducido la infraestructura en redes físicas de acceso y distribución a Internet; por lo que es indispensable realizar el diseño y simulación de una infraestructura de red de acceso inalámbrica a Internet y los parámetros a considerarse en su implementación en un plazo estimado de seis meses.

Debido a la falta de infraestructura en lo referente a postes de la empresa eléctrica de la ciudad y redes de fibra óptica, surge la necesidad de diseñar una red de acceso a Internet mediante, para su implementación en un plazo estimado de seis meses mediante la utilización de tecnología inalámbrica.

En lo referente a la situación geográfica y climatológica que tiene la ciudad de Pedernales hace que se analice los efectos de la presencia del mar en el extremo este de la ciudad para delimitar el área de cobertura que se pretende brindar, así como la influencia que tiene la humedad y la salinidad presentes en el medio que influirán directamente en la distancia a la que se pueda brindar el servicio de acceso a Internet.

El proyecto tiene la finalidad de realizar el estudio de diseño y propagación de una red de acceso a Internet, tomando en cuenta el tipo de tecnología a utilizar y las características del medio, para dar cumplimiento a la concesión otorgada a la Empresa “SOCIEDAD CIVIL M&S TELEVISIÓN Y SERVICIOS” de servicios de valor agregado por parte de la ARCOTEL, pues existe la falta de esta infraestructura por los fenómenos citados anteriormente

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo general**

Realizar el diseño y simulación de una red de acceso de Internet inalámbrico para la ciudad de Pedernales en Manabí Ecuador, para su implementación y puesta en operación.

#### **1.3.2 Objetivos específicos**

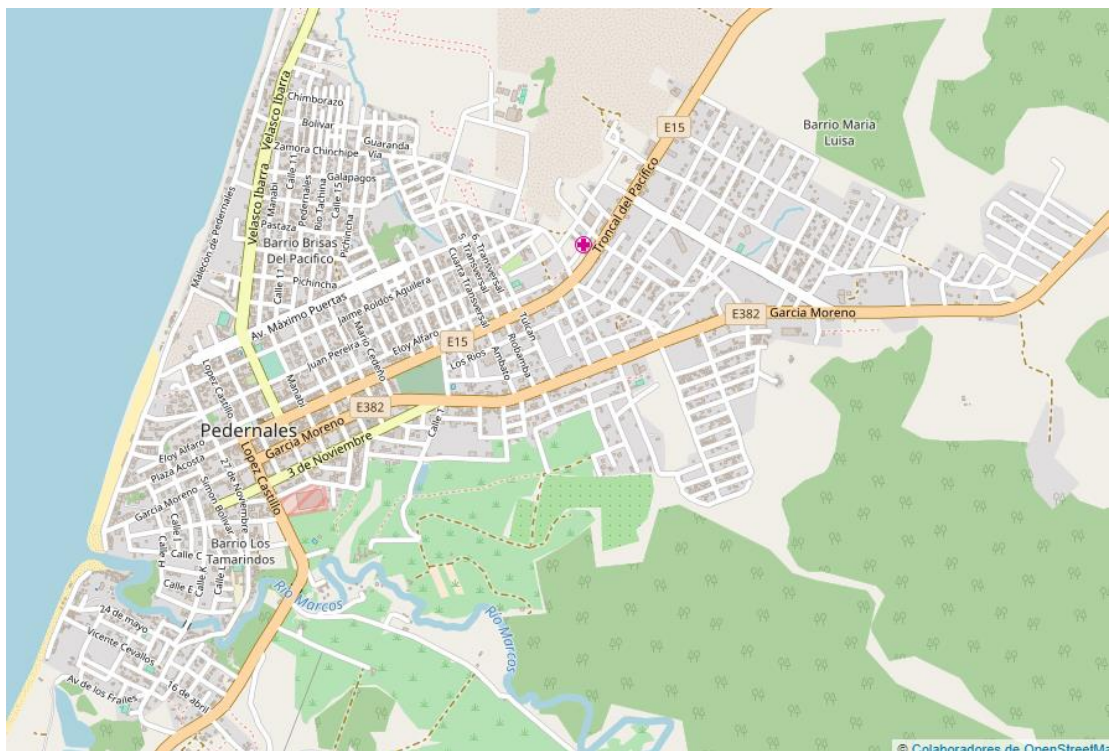
- Diseñar y dimensionar los enlaces y la infraestructura inalámbrica que pueda prestar el servicio de acceso a Internet.
- Definir la cobertura de los distintos enlaces para poder ofrecer acceso a Internet.
- Definir los parámetros de ancho de banda máximos y mínimos que se van a ofertar en la ciudad de Pedernales en el servicio de acceso a Internet.
- Proponer un modelo de calidad de servicio QoS para los servicios red.
- Simular el diseño propuesto de la red a utilizarse para proporcionar acceso a Internet y a futuros servicios de valor agregado autorizados por la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones.
- Comparar los resultados de la simulación en las frecuencias no licenciadas de 2.4GHz y 5GHz en sus distintos estándares de transmisión.

- Elaborar un presupuesto estimado de la infraestructura a utilizarse para una implementación inicial en un plazo aproximado de seis meses.

#### 1.4 Delimitación espacial

El presente proyecto se diseñará y simulará para ajustarse a la situación de la ciudad de Pedernales en la Provincia de Manabí, Ecuador (Ver Figura 1.1), en lo referente a la situación geográfica y climatológica que tiene la ciudad de Pedernales hace que se analice los efectos de la presencia del mar en el extremo este de la ciudad para delimitar el área de cobertura que se pretende brindar, así como la influencia que tiene la humedad y la salinidad presentes en el medio que influirán directamente en la distancia a la que se pueda brindar el servicio de acceso a Internet.

Figura 1.1.- Ciudad de Pedernales en Manabí – Ecuador



Zona Geográfica de la ciudad de Pedernales para ubicación de WISP. Fuente (Google Maps 2017)

#### 1.5 Grupo objetivo

La ciudad de Pedernales y su población se verán directamente beneficiadas con el diseño y la simulación de la red planteada en este proyecto a ser implementado. La población de la ciudad tendrá la oferta de servicios de acceso a Internet con un WISP local, con lo que se reduce el tiempo de servicio técnico y atención al cliente al

encontrarse la empresa ubicada geográficamente en la misma ciudad donde se ofrecerá el servicio.

Los clientes de los servicios de audio y video por suscripción serán los beneficiarios directos de los servicios de Valor agregado ofertados por la Empresa SOCIEDAD CIVIL M&S TELEVISIÓN Y SERVICIOS

### **1.6 Propuesta de solución**

Para el diseño de la red de acceso se pretende utilizar una topología mallada inalámbrica con lo que se tiene redundancia en la misma y una mejor administración de los recursos de red.

Se simularán los distintos servidores que se implementan en un ISP como son servidor de Seguridad, Servidor Web, Servidor DNS, Servidor de Cacheo, Firewall, para la operación del ISP.

En la simulación se tomará en cuenta que el método de acceso para la infraestructura estará basado en una autenticación de servidor para que pueda proveer los parámetros básicos de configuración con lo son DNS, DHCP, FTTP con lo que se podrán tener distintas mediciones basadas en el software que se va a utilizar.

Las simulaciones de la red se realizarán con los estándares inalámbricos IEEE 802.11a, IEEE 802.11b, IEEE 802.11n, con lo que se trabaja en las frecuencias de 2,4GZ y 5GHz, que son frecuencias no licenciadas dentro del espectro radioeléctrico con lo que no se necesita adjudicación de frecuencias adicionales. Para la simulación de la topología red y propuesta se utilizará el software de simulación GNS3, con los equipos que se encuentran en el mercado.

Para la obtención del área de cobertura se utilizará el software de simulación Radio Mobile y Matlab para realizar los cálculos respectivos utilizando el modelo de

propagación ITU-R 1546 conjuntamente con el modelo de propagación de Longley-Rice.

Se propone utilizar antenas sectoriales para simular el área de cobertura y el rendimiento de la red de acceso inalámbrica, así como la reducción de los costos en la implementación de la red en un plazo tentativo de seis meses.

## **CAPÍTULO 2**

### **MARCO CONCEPTUAL**

#### **2.1 Modelos de propagación**

Un modelo de propagación es una representación simplificada de la realidad por medio de un conjunto de representaciones e hipótesis.

Podemos diferenciar varios tipos de modelos según la precisión que estos tienen como los siguientes:

- Modelos matemáticos
- Modelos empíricos o estadísticos
- Modelos teóricos
- Modelos deterministas
- Modelos estocásticos
- Modelos de caja negra

##### **2.1.1 Modelos matemáticos:**

Son procedimientos matemáticos que mediante el uso de fórmulas describen el comportamiento de un fenómeno físico, dependen del número de parámetros a tomarse en cuenta por lo que se requiere de una gran potencia de computación para obtener resultados.

##### **2.1.2 Modelos empíricos o estadísticos:**

Se basa en la extrapolación estadística de resultados obtenidas a partir de las medidas de un fenómeno realizadas sobre el terreno.

La precisión de este modelo no depende solamente de la precisión de las medidas, sino de la similitud entre las características físicas, ambientales y de entorno entre los dos ambientes de prueba.

##### **2.1.3 Modelos teóricos:**

Se basan en los principios fundamentales del fenómeno que se intenta representar.

Requieren de una gran cantidad de bases de datos de características relativas al entorno a representar, generalmente los algoritmos utilizados son muy complejos y computacionalmente poco eficientes

#### **2.1.4 Modelos deterministas**

Modelo en el cual los resultados obtenidos de la simulación no tienen ninguna distribución de probabilidad y solo dependen de las condiciones de la simulación.

#### **2.1.5 Modelos estocásticos**

Son modelos en los que los resultados obtenidos tienen una distribución de probabilidad.

Los resultados de la simulación no dependen solamente de las condiciones de entrada por lo que se obtienen distintos resultados para una misma simulación.

#### **2.1.6 Modelos caja negra**

Son modelos en los que reproducen la entrada y salida del fenómeno sin tomar en cuenta el proceso realizado para la obtención de los resultados.

Los modelos mencionados anteriormente se pueden emplear en muchas aplicaciones como, por ejemplo:

- Física y química
- Estadística
- Medicina
- Procesos industriales
- Propagación y redes

#### **2.1.7 Modelos de propagación en redes inalámbricas**

Los modelos de propagación de radio se pueden clasificar según la zona de cobertura en dos tipos:

- Modelos outdoor
- Modelos indoor

#### **2.1.8 Modelos outdoor**

Los modelos outdoor se diferencian por el área de cobertura por lo que se las puede dividir en

- Grandes zonas de cobertura (Macrocelas)

- Pequeñas zonas de cobertura (Microceldas)

Existen varios modelos de propagación para sistemas inalámbricos outdoor debido a que la comunicación inalámbrica outdoor se la viene utilizando desde hace mucho más tiempo por lo que existen varios modelos de simulación.

Los modelos de propagación son un conjunto de expresiones matemáticas, algoritmos y diagramas usado para representar las características del medio ambiente en el cual se va a realizar la transmisión de información.

Cabe destacar que los modelos de propagación pueden ser clasificados dentro de los modelos empíricos o estadísticos como lo son HOKUMURA que es uno de los más utilizados dentro de zonas urbanas, HATA que se trata de una formula empírica de las gráficas del modelo de HOKUMURA, el COST-231-Walfisch-Ikegami que hace uso del modelo Walfisch-Bertoni o el de Dual-Slope que está basado en el modelo de dos rayos muy utilizado cuando la antena transmisora está varias longitudes de onda por encima de la horizontal del plano del suelo.

Todos estos modelos se pueden traducir mediante la utilización de procesos matemáticos simples de implementar, pero su utilización está destinada cuando no se requiere una precisión elevada.

Con la utilización de estos modelos de propagación se pueden predecir la pérdida en la trayectoria que una señal de RF pueda tener entre una estación base y un receptor sea móvil o fijo.

La ventaja de modelar radiocanales al tomar en cuenta las distintas características entre transmisor (Tx) y receptor (Rx), es conocer la viabilidad para la implementación de proyectos que se van a implementar en un futuro en determinados sectores, con lo que se podrá hacer una estimación de las siguientes necesidades:

- Costo de implementación
- Capacidad de los radioenlaces



- Ubicación de Tx y Rx

Ligado íntimamente a estas consideraciones hay que tomar en cuenta que al realizar una simulación en este caso para ambientes outdoor debemos tomar en cuenta características de propagación como las siguientes:

- Ambiente de área de propagación (área urbana, suburbana, abierta)
- Tipo de terreno (montañoso, ondulado, cordillera, llanura.... etc.)
- Características del ambiente (lluvia, vegetación, temperatura)
- Características de la atmósfera (índice de refracción, intensidad de las lluvias)
- Propiedades eléctricas del suelo (conductividad terrestre)

Dentro de los distintos modelos de propagación que existen vamos a tomar en cuenta el modelo ITU-R P.1411-9 para la estimación de características como los siguientes

- Área de cobertura
- Frecuencias a utilizarse
- Estándares a utilizarse
- Estimación de potencia de transmisión
- Estimación de potencia de Recepción

### **2.1.9 Modelo ITU-R P.1411-9**

Esta recomendación se la puede utilizar tomando en cuenta los datos de propagación y los distintos métodos de predicción que se utilizan para la implementación de sistemas de radiocomunicaciones en exteriores y en redes de área local en el rango de frecuencia comprendido entre 300 MHz a 100GHz.

Cabe indicar que en este modelo de propagación se ve afectada principalmente por obstáculos como edificios y la vegetación antes que por la elevación y el perfil del terreno. La interferencia provocada por los edificios es predominante pues los enlaces radioeléctricos de trayecto corto se dan en áreas urbanas y suburbanas. Los modelos de propagación tomados en cuenta son utilizan métodos que son simétricos, pues tratan a los terminales radioeléctricos de los extremos de la misma manera. Desde el punto de vista del modelo, es indiferente cuál de los terminales es el transmisor Tx y

cuál es el receptor Rx. Por esta razón, se usan los términos «Estación 1» y «Estación 2» para indicar, respectivamente, los terminales al inicio y al final del trayecto de propagación radioeléctrica (ITU, 2017).

Por el área de cobertura que proporcionan las celdas radioeléctricas se clasifican de la siguiente manera:

- Microcélula
- Microcélula urbana densa
- Picocélula.

En la Tabla 2.1 se muestra las características de los tipos de células de transmisión.

Tabla 2.1. Definición de tipos de célula (ITU, 2017)

<b>Tipo de célula</b>	<b>Radio de la célula</b>	<b>Posición típica de la antena de la estación de base</b>
Microcélula	0,05 - 1 km	Exteriores; instalada por encima del nivel medio de los tejados; las alturas de algunos edificios que se encuentran alrededor pueden ser superiores a la de la antena de la estación de base
Microcélula urbana densa	0,05 - 0,5 km	Exteriores; instalada por debajo del nivel medio de los tejados
Picocélula	0 - 50 m	Interiores o exteriores (instalada por debajo del nivel máximo de los tejados)

Definición de tipos de célula (ITU, 2017), Fuente: (ITU, 2017)

En la Tabla 2.2 se muestran cada uno de los cinco ambientes distintos, se consideran dos casos posibles de los móviles. De esta manera, se dividen los usuarios según se trate de peatones o de vehículos (ITU, 2017).

Tabla 2.2.- Entornos de funcionamiento físico

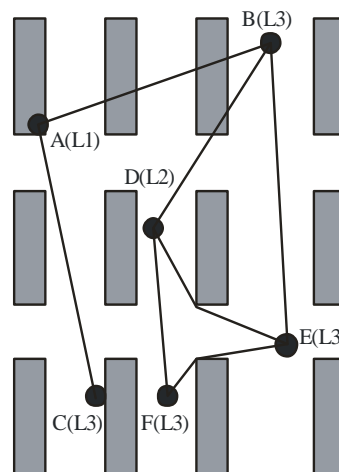
Ambiente	Descripción y degradaciones de la propagación significativas
Urbano de edificación muy alta	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Valle urbano profundo con una gran actividad, caracterizado por avenidas con edificios en alta densidad y varias decenas de pisos, hecho que da como resultado un valle urbano profundo</li> <li>– La cantidad considerable de edificios y los rascacielos se alternan, hecho que da como resultado trayectos de propagación con abundante dispersión sin visibilidad directa</li> <li>– Las hileras de edificaciones de considerable altura hacen posible la existencia de retardos muy largos de trayecto</li> <li>– El tráfico intenso y el elevado flujo de visitantes en la zona actúan como reflectores, lo que añade un efecto Doppler a las ondas reflejadas</li> <li>– Los árboles y las calles producen un ensombrecimiento dinámico</li> </ul>
Urbano de construcción alta	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Valle urbano, caracterizado por avenidas con edificios altos con altura considerable</li> <li>– La altura de las edificaciones reduce la probabilidad de la existencia de una contribución significativa de la propagación que pasa por encima de los tejados</li> <li>– Las hileras de edificaciones altas hacen posible la existencia de largos retardos de trayecto</li> <li>– El gran número de vehículos en movimiento en la zona actúa como reflector, lo que añade un efecto Doppler a las ondas reflejadas</li> </ul>
Urbano de construcción baja/Suburbano	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Se presenta en las calles anchas</li> <li>– Las alturas de las edificaciones suelen ser menores a tres pisos, lo que hace probable la difracción por tejados</li> <li>– Pueden producirse en ocasiones reflexiones y ensombrecimientos producidos por los vehículos en movimiento</li> <li>– Los efectos principales son: retardos grandes y pequeños efectos de Doppler</li> </ul>
Zona residencial	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Construcciones comprendidas entre uno y dos pisos</li> <li>– Las calles suelen ser de doble sentido con vehículos estacionados a los lados de la misma</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Es posible que exista la presencia de vegetación densa a ligera</li> <li>– Tráfico motorizado generalmente ligero</li> </ul>
Rural	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Pequeñas casas rodeadas de amplios espacios verdes</li> <li>– Influencia de topografía (perfil topográfico)</li> <li>– Posibilidad de vegetación densa a ligera</li> <li>– Tráfico motorizado poco denso</li> </ul>

Entornos de funcionamiento físico – Degradaciones de la propagación (ITU, 2017) Fuente: (ITU, 2017)

En la Figura 2.1 se muestran diferentes situaciones transmisión que se pueden presentar

Figura 2.1.-Situaciones típicas de propagación



Situaciones típicas de propagación en ambiente urbano (ITU, 2017). Fuente: (ITU, 2017)

En la Figura 2.1 se muestran situaciones de transmisión

- Con línea de vista LoS tramos AC, AB, BD, BE, DF
- Sin línea de vista NLoS tramos ED, EF

Donde

- A, D antena Tx
- B, C, F, E antena Rx

El modelo general es aplicable para el caso en que las antenas tanto transmisor (Tx) como receptor (Rx) se encuentran bajo una azotea o techo y está dado por la Ecuación Ec.(2.Ec. (2.1) (ITU, 2017).

$$PL(d, f) = 10\alpha \log_{10}(d) + \beta + 10\gamma \log_{10}(f) + N(0, \sigma) \text{ dB} \quad \text{Ec. (2.1)}$$

Donde tenemos:

$d$  : Distancia directa entre Tx y Rx (m)

$f$  : Frecuencia de operación (GHz)

$\alpha$  : Coeficiente asociado a la perdida en función de la distancia

$\beta$  : Coeficiente asociado a la perdida por trayecto

$\gamma$  : Coeficiente asociado a la perdida por trayecto en función de la frecuencia

$N(0, \sigma)$ : variable aleatoria Gaussiana cero con desviación estándar  $\sigma$  (dB).

Los valores recomendados para situaciones LoS y NLoS representados en la Figura 2.1 se muestran en la Tabla 2.3 (ITU, 2017).

Tabla 2.3.- Coeficientes de pérdidas por trayecto para propagación bajo cubierta

Rango de Frecuencias (GHz)	Rango de Distancias (m)	Tipo de Ambiente	LoS / NLoS	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\sigma$
0.8-73	5-660	Urbano de construcción alta, Urbano de construcción baja/ Suburbano	LoS	2.12	29.2	2.11	5.06
0.8-38	30-715	Urbano de construcción alta	NLoS	4.00	10.2	2.36	7.60
10-73	30-250	Urbano de	NLoS	5.06	-4.68	2.02	9.33

		construcción baja / Suburbano					
--	--	----------------------------------	--	--	--	--	--

Coeficientes de pérdidas por trayecto para propagación bajo cubierta Fuente: (ITU, 2017)

Para analizar los tramos con línea de vista LoS que operan con una frecuencia UHF (ondas decimétricas), como se definen en la recomendación UIT-R P.341 se analizan utilizando dos pendientes y un único punto de inflexión. El tramo inferior está dado por la Ecuación Ec. (2.2).

$$L_{LoS,l} = L_{bp} \begin{cases} 20 \log_{10} \left( \frac{d}{R_{bp}} \right) & \text{para } d \leq R_{bp} \\ 40 \log_{10} \left( \frac{d}{R_{bp}} \right) & \text{para } d > R_{bp} \end{cases} \quad \text{Ec. (2.2)}$$

donde  $R_{bp}$  es la distancia al punto de inflexión dada por la Ecuación Ec. (2.3) (ITU, 2017)

$$R_{bp} \approx \frac{4h_1 h_2}{\lambda} \quad \text{Ec. (2.3)}$$

Donde

- $\lambda$  : longitud de onda (m)
- $h_1$ : altura antena Tx
- $h_2$ : altura antena Rx

El valor superior  $L_{LoS,u}$  está dado por la Ecuación Ec. (2.4) (ITU, 2017):

$$L_{LoS,u} = L_{bp} + 20 + \begin{cases} 25 \log_{10} \left( \frac{d}{R_{bp}} \right) & \text{para } d \leq R_{bp} \\ 40 \log_{10} \left( \frac{d}{R_{bp}} \right) & \text{para } d > R_{bp} \end{cases} \quad \text{Ec. (2.4)}$$

$L_{bp}$  es el valor de las pérdidas básicas de transmisión para el segundo punto de inflexión se define por la Ecuación Ec. (2.5) (ITU, 2017):

$$L_{bp} = \left| 20 \log_{10} \left( \frac{\lambda^2}{8\pi h_1 h_2} \right) \right| \quad \text{Ec. (2.5)}$$

Cabe recalcar las siguientes consideraciones

- Margen desvanecimiento superior 20 dB
- Coeficiente atenuación antes del punto de inflexión 2,5 (distancia corta implica bajo apantallamiento)

El valor medio  $L_{LoS,m}$  viene dado por la Ecuación Ec.(2.6). (ITU, 2017):

$$L_{LoS,m} = L_{bp} + 6 + \begin{cases} 20 \log_{10} \left( \frac{d}{R_{bp}} \right) & \text{para } d \leq R_{bp} \\ 40 \log_{10} \left( \frac{d}{R_{bp}} \right) & \text{para } d > R_{bp} \end{cases} \quad \text{Ec. (2.6)}$$

Para frecuencias centimétricas de hasta 15 GHz la distancia del punto de inflexión se determina mediante la Ecuación Ec. (2-7) (ITU, 2017):

$$R_{bp} = 4 \frac{(h_1 - h_s)(h_2 - h_s)}{\lambda} \quad \text{Ec. (2.7)}$$

Donde tenemos:

- $h_s$ : Altura de la calle debida a obstáculos como vehículos y peatones cercanos a la calzada

$h_s$  depende del tráfico y de las dimensiones de la calle.

En las siguientes Tablas se muestran los valores de  $h_b$  y  $h_s$  tomando en cuenta el tipo de tráfico que puede existen un medio urbano (ITU, 2017).

En las Tablas 2.4 y 2.5 se muestran las alturas equivalentes de la calle  $h_s$  dependiendo del tipo de tráfico.

Frecuencia (GHz)	$h_1$ (m)	$h_s$ (m)	
		$h_2 = 2,7$	$h_2 = 1,6$
3,35	4	1,3	(2)
	8	1,6	(2)
8,45	4	1,6	(2)
	8	1,6	(2)
15,75	4	1,4	(2)
	8	(1)	(2)

Tabla 2.4.-Altura equivalente de la calle,  $h_s$  (tráfico intenso) (ITU, 2017)

Fuente: (ITU, 2017)

(1) El punto de inflexión está más allá de 1 km.

(2) No existe punto de inflexión.



Tabla 2.5.- Altura equivalente de la calle,  $h_s$  (tráfico ligero) (ITU, 2017)

Frecuencia (GHz)	$h_1$ (m)	$h_s$ (m)	
		$h_2 = 2,7$	$h_2 = 1,6$
3,35	4	0,59	0,23
	8	(1)	(1)
8,45	4	(2)	0,43
	8	(2)	(1)
15,75	4	(2)	0,74
	8	(2)	(1)

Altura equivalente de la calle,  $h_s$  (tráfico ligero) (ITU, 2017) Fuente: (ITU, 2017)

(1) No se tomaron medidas

(2) El punto de inflexión está más allá de 1 km.

#### 2.1.10 Situaciones de altura

Se analizan las siguientes situaciones

##### Para $h_1$

Si  $h_2 > h_s$ , los valores aproximados de los límites superior e inferior de la pérdida básica de transmisión para la banda de ondas centimétricas pueden calcularse utilizando las ecuaciones (1) y (3), viniendo dado  $L_{bp}$  por la Ecuación Ec. (2.8) (ITU,

$$L_{bp} = \left| 20 \log_{10} \left( \frac{\lambda^2}{8\pi(h_1 - h_s)(h_2 - h_s)} \right) \right| \quad \text{Ec. (2.8)}$$

2017):

Si  $h_1 \leq h_s$  o  $h_2 \leq h_s$  no existe punto de inflexión. Cuando el transmisor Tx y El receptor Rx están próximos ( $d < R_s$ ) la pérdida básica de propagación es similar a que se tiene cuando se trabaja con ondas decimétricas. Cuando el transmisor Tx y El receptor Rx están alejados entre sí, las características de propagación producen que el

coeficiente de atenuación se eleve al cubo. Por tanto, el límite inferior aproximado para  $d \geq R_s$  está dado por la Ecuación Ec. (2.9) (ITU, 2017):

$$L_{L_oS,l} = L_s + 30\log_{10}\left(\frac{d}{R_s}\right) \quad \text{Ec. (2.9)}$$

El límite superior aproximado para  $d \geq R_s$  viene dado por la Ecuación Ec. (2.10) (ITU, 2017):

$$L_{L_oS,u} = L_s + 20 + 30\log_{10}\left(\frac{d}{R_s}\right) \quad \text{Ec. (2.10)}$$

La pérdida básica de propagación,  $L_s$  se define por la Ecuación Ec. (2.11) (ITU, 2017):

$$L_s = \left| 20\log_{10}\left(\frac{\lambda}{2\pi R_s}\right) \right| \quad \text{Ec. (2.11)}$$

Experimentalmente el valor de  $R_s$  de las ecuaciones 9 a 11 es de 20 m.

Con estas consideraciones, el valor mediano está dado por la Ecuación Ec. (2.12) (ITU, 2017):

$$L_{L_oS,m} = L_s + 6 + 30\log_{10}\left(\frac{d}{R_s}\right) \quad \text{Ec. (2.12)}$$

## 2.2 Modelo Longley-Rice

El modelo Longley-Rice conocido también como Modelo de Tierra Irregular ITM (Irregular Terrain Model), fue desarrollado en 1968 y es aplicable para frecuencias de 20MHz a 20GHz.

El modelo de propagación de Longley-rice está basado en la teoría electromagnética y en el análisis estadístico de del terreno, así como las medidas radioeléctricas tomadas por lo que se lo puede considerar un modelo empírico-estadístico o semi-empírico en el cual se predice la mediana de la atenuación de la señal radioeléctrica en función de los siguientes parámetros:

- Distancia de transmisión
- Topografía del terreno
- Variabilidad de la señal en el tiempo

- Variabilidad de la señal en el espacio

El algoritmo para la implementación del modelo de propagación Longley-Rice en la versión 1.2.2 se encuentra en el Anexo 7 (Institute for Telecommunication , 2014).

Este modelo de transmisión puede trabajar en dos modos de predicción:

- Modo de predicción área de cobertura
- Modo de predicción punto – punto

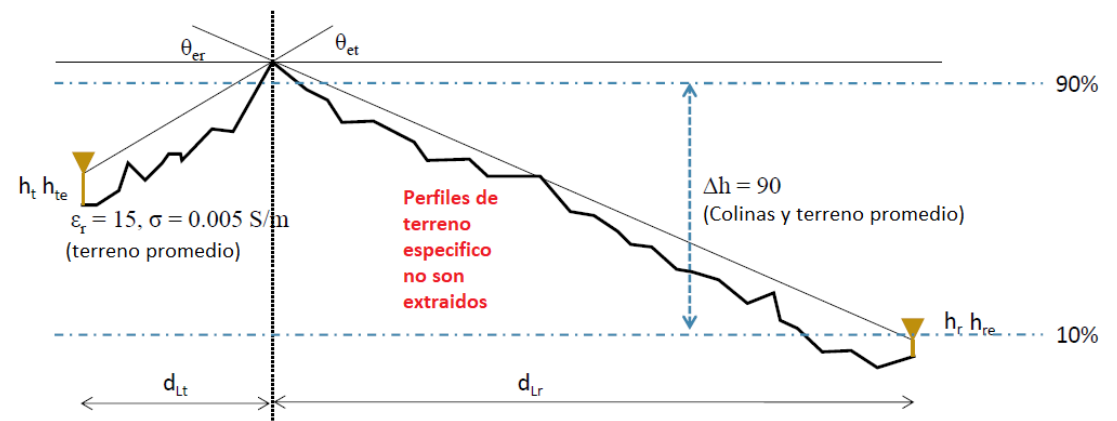
### **2.2.1 Modo de predicción área de cobertura**

En este modo se deben ingresar los siguientes parámetros:

- Frecuencia de operación
- Polarización de antenas de transmisión
- Alturas de los terminales sobre el suelo ( $H_t$ ,  $H_r$ )
- Propiedades eléctricas de la tierra ( $\epsilon_r$ ,  $\sigma$ )
- Irregularidad del terreno ( $\Delta h$ )
- Refractividad de la superficie
- Modo de variabilidad
- Características climáticas de transmisión

Las alturas efectivas de las antenas de transmisión ( $h_{et}$ ,  $h_{er}$ ), las distancias horizontales ( $d_{Lt}$ ,  $d_{Lr}$ ) y los ángulos de elevación ( $\theta_{et}$ ,  $\theta_{er}$ ) que se muestran en la Figura 2.2, son determinados a partir de medidas observadas empíricamente

Figura 2.2.- Parámetros ITM modo área de cobertura



Parámetros ITM modo área de cobertura. Fuente: (Institute for Telecommunication Sciences, 2016)

### 2.2.2 Modo de predicción área Punto-Punto

En este modo de predicción se deben ingresar los siguientes parámetros:

- Frecuencia de operación
- Polarización de antenas de transmisión
- Alturas de los terminales sobre el suelo ( $H_t$ ,  $H_r$ )
- Perfil de terreno con espaciado equidistante entre los terminales
- Propiedades eléctricas de la tierra ( $\epsilon_r$ ,  $\sigma$ )
- Irregularidad del terreno ( $\Delta h$ )
- Refractividad de la superficie
- Modo de variabilidad
- Características climáticas de transmisión

### 2.2.3 Trayectoria sin línea de vista NLOS

En este modo de transmisión se deben tomar en cuenta los siguientes parámetros:

- Variación entre la altura ( $\Delta h$ ) de los terminales
- Alturas efectivas de las antenas de transmisión ( $h_{et}$ ,  $h_{er}$ )
- Distancias horizontales ( $d_{Lt}$ ,  $d_{Lr}$ )
- los ángulos de elevación ( $\theta_{et}$ ,  $\theta_{er}$ ) desde el perfil del terreno

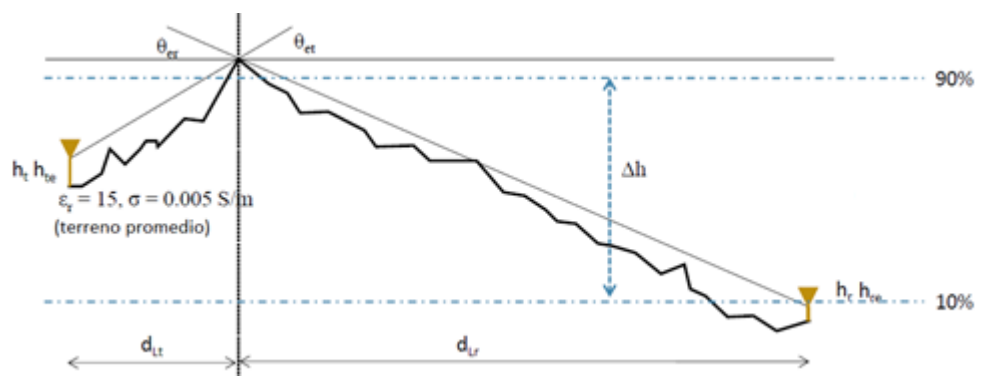
### 2.2.4 Trayectoria con línea de vista LOS

En este modo de transmisión se deben tomar en cuenta los siguientes parámetros:

- Variación entre la altura ( $\Delta h$ ) de los terminales.

- Alturas efectivas de las antenas de transmisión ( $h_t$ ,  $h_r$ ).
- Las alturas efectivas de las antenas de transmisión deben ser obtenidas en base al perfil topográfico del terreno, así como se recomienda utilizar el modo de predicción área de cobertura para determinar las distancias horizontales entre los terminales y los ángulos de elevación, como se muestra en la Figura 2.3.

Figura 2.3.- Parámetros ITM modo área de cobertura



Parámetros ITM modo área de cobertura. Fuente: (Institute for Telecommunication Sciences, 2016)

- En el caso de no contar con línea de vista NLOS hay que elevar las alturas efectivas ( $h_t$ ,  $h_r$ ) hasta que se obtenga una línea de vista LOS y sin obstrucción.

El modelo de transmisión de Longley-Rice es el modelo más utilizado por los distintos softwares de simulación como, por ejemplo: Radio Mobile, Path Los, Atoll, entre otros, por lo que cumple con los requerimientos tanto en frecuencia como en distancias en los que el modelo es aplicable

### 2.3 Modelo energético de transmisión

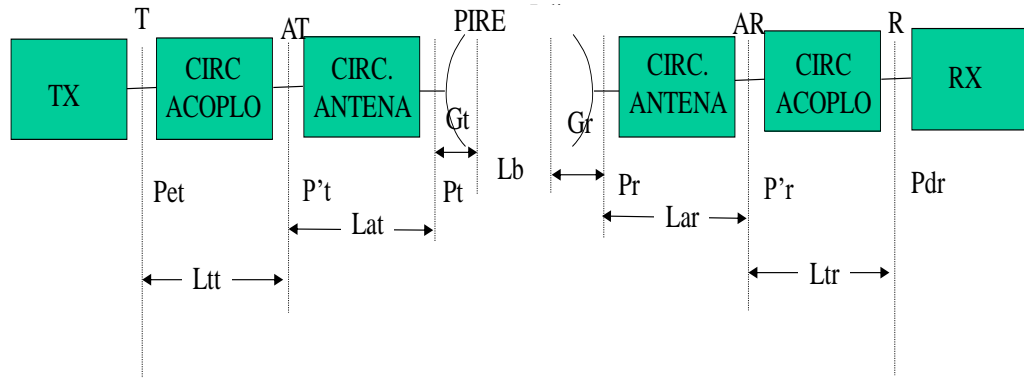
El análisis del modelo energético de transmisión en sistemas de radiocomunicación tiene la finalidad de establecer el presupuesto energético del radio-enlace tomando en cuenta los siguientes aspectos:

- Potencia de transmisión
- Umbral de recepción
- Ganancia de antenas
- Perdidas en espacio libre

- Pérdidas en acoplamiento

El diagrama del modelo energético se muestra en la Figura 2.4 donde se muestran los siguientes elementos e interfaces.

Figura 2.4.- Representación Modelo Energético



Representación Modelo Energético. Fuente: (Hernando, 2015, pág. 80)

Donde tenemos:

- $L_b$ : Pérdidas en espacio libre
- $L_{tt} / L_{tr}$ : Pérdidas en líneas de transmisión
- $L_{at} / L_{ar}$ : Pérdidas en acoplos de Tx y Rx
- $G_t / G_r$ : Ganancias de antenas de Tx y RX
- PIRE: Potencia Isotrópica Radiada Efectiva
- $U_{Rx}$ : Umbral de Recepción

Donde el valor del PIRE se calcula con la Ecuación Ec. (2.13) (Hernando, 2015).

$$PIRE = P_T(dB_w) + G_T \quad \text{Ec. (2.13)}$$

El valor de la Potencia Radiada Aparente Para esta dado por la Ecuación Ec. (2.14) (Hernando, 2015)

$$PRA = PIRE - 2,15(dB) \quad \text{Ec. (2.14)}$$

La potencia efectiva radiada PER está dada por la Ecuación Ec. (2.15) (Hernando, 2015)

$$PER = P_t(\text{dB}) + G_t(\text{dB}) - L_a(\text{dB}) \quad \text{Ec. (2.15)}$$

La Ecuación Ec. (2.16) indica la potencia de transmisión para el modelo energético (Hernando, 2015)

$$P_T = U_{RX} + L_{tt} + L_a - G_t + L_b - G_r + L_{ar} + L_{tr} \quad \text{Ec. (2.16)}$$

Donde la pérdida básica en espacio libre  $L_b$  está dada por las Ecuaciones Ec. (2.17) y Ec. (2.18) (Hernando, 2015)

$$L_b = 32,45 + 20 \log(f(\text{MHz})) + 20 \log(d(\text{km})) \quad \text{Ec. (2.17)}$$

$$L_b = 92,45 + 20 \log(f(\text{GHz})) + 20 \log(d(\text{km})) \quad \text{Ec. (2.18)}$$

## **2.4 Redes inalámbricas**

Las actuales redes de comunicación pueden utilizar medios conductores como cobre, fibra óptica o a su vez utilizar ondas electromagnéticas teniendo como medio de transmisión el espacio, las comunicaciones inalámbricas pueden ser utilizadas en múltiples aplicaciones de corto alcance para un limitado número de usuarios, así como en servicios masivos de alcance extendido como radio, televisión, telefonía móvil etc.

### **2.4.1 Clasificación de redes inalámbricas**

Las redes inalámbricas en relación al área de cobertura se clasifican según los estándares IEEE que utilices para la transmisión en

#### **2.4.2 Redes WPAN**

Wireless Personal Area Network (Redes de área personal inalámbrica) entre la cuales podemos encontrar Bluetooth (especificación IEEE 802.15.1), Zigbee (especificación IEEE 802.15.4), estas redes tienen un alcance limitado e interconectan dispositivos para interactuar entre si (James F. Kurose, 2013, pág. 544).

#### **2.4.3 Redes WLAN**

Wireless Local Area Network (Redes de área local inalámbrica) utiliza un estándar de comunicación basada en la norma IEEE 802.11x y otros protocolos no

normalizados propios de algunos fabricantes, con lo que se tiene una significativa mejora en la velocidad y la distancia del enlace (James F. Kurose, 2013, pág. 545).

#### **2.4.4 Redes WMAN**

Wireless Metropolitan Area Network (Redes de área metropolitana inalámbrica) utilizan estándares de comunicación basados en la norma IEEE 802.16 (Wimax que mejora sustancialmente lo referido al ancho de banda y área de cobertura) (James F. Kurose, 2013, pág. 547).

#### **2.4.5 Redes WWAN**

Wireless Wide Area Network (Red de área extendida inalámbrica), utilizada mayormente por los operadores de telefonía celular brindan un área de cobertura muy extensa, así como un ancho de banda móvil considerable (en el caso de redes LTE y LTE+) (James F. Kurose, 2013, pág. 547) .

### **2.5 Estándares Wi-Fi**

El estándar IEEE 802.11 x fue definido en 1997 y aprobado en 1999 para varias frecuencias de operación y los rangos con los rangos de trabajo, muchos de estos estándares en la actualidad se encuentran obsoletas y solo algunos se encuentran en uso. Este estándar es la base para el diseño y desarrollo de las redes inalámbricas WLAN.

#### **2.5.1 IEEE 802.11a**

Estándar aprobado en 1999 denominado IEEE 802.11a opera en el rango de frecuencia de 5Ghz con un ancho de banda de 20 MHz, utiliza multiplexación por división de frecuencias ortogonales OFDM como esquema de modulación con lo que alcanza una velocidad de hasta 54 Mbps, con antenas con tecnología SISO entrada simple y salida simple. Es menos propenso a la interferencia en comparación con 802.11b debido a la alta frecuencia de funcionamiento de 5GHz ((IOSR-JCE), 2015).

#### **2.5.2 IEEE 802.11b**

Aprobado por la IEEE en 1999, este estándar brinda una transmisión de 11Mbps (con un repliegue a 5.5, 2 y 1 Mbps) en una frecuencia de operación de 2,4GHz en un ancho de banda de 22MHz, usa una técnica de modulación DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) y utiliza antenas con tecnología SISO comparable con Ethernet, es



un estándar propenso a una mayor interferencia debido a la frecuencia de operación. ((IOSR-JCE), 2015)

### **2.5.3 IEEE 802.11g**

Aprobada en el año 2003, es una combinación de sus predecesores 802.11 a y b, pues toma las mejores características de sus predecesores, opera en la banda de frecuencia de 2.4Ghz con un ancho de banda de 20MHz utiliza modulación OFDM como técnica de transmisión con soporte para DSSS lo que lo hace compatible con dispositivos 802.11b, utiliza antenas con tecnología SISO ((IOSR-JCE), 2015).

### **2.5.4 IEEE 802.11n**

Ratificado en septiembre del 2009, utiliza arreglo de antenas con tecnología MIMO que se obtiene gracias a un desfase de la señal que se transmite, lo que permite tener múltiples entradas y multiplex salidas se utiliza modulación OFDM con un ancho de canal de 20MHz o 40MHz (canal agregado) lo que se refleja en mayor número de subportadoras OFDM 108 en total que incrementan la cantidad de datos que se pueden transportar, con lo que se obtiene teóricamente una transmisión de 600 Mbps (Hucaby, 2014, pág. 57).

### **2.5.5 IEEE 802.11ac**

Estándar ratificado en enero del 2014, es conocido como Wifi 5G o Wifi Gigabit este estándar es una evolución de 802.11n mejora muchas de sus características. Utiliza el espectro de 5Ghz con tasas de transferencia teóricas de 1.3Gbps en su primer lanzamiento con 6.9Gbps en su versión final aun en desarrollo que posee canales más amplios de 80+80 y 160Mhz y establece hasta 8 flujos de datos espaciales, cada flujo espacial aumenta proporcionalmente el rendimiento (Thornycroft, 2013, págs. 5-12).

Implementa modificaciones a las capas PHY y MAC del estándar 802.11. La tecnología de transmisión Beamforming (TxBF) detecta la ubicación de los dispositivos e incrementa la intensidad de la señal al focalizar el haz de la señal en dirección del dispositivo suplicante mediante procesamiento digital de la señal, a su vez el estándar utiliza una codificación superior 256-QAM (Aruba, 2015, págs. 4-10).

El anexo 1 muestra la Tabla MCS de 802.11ac con tres flujos de datos, canales de 20, 40, 80 y 160 MHz y los 23 primeros modos empleados comercialmente de 802.11n

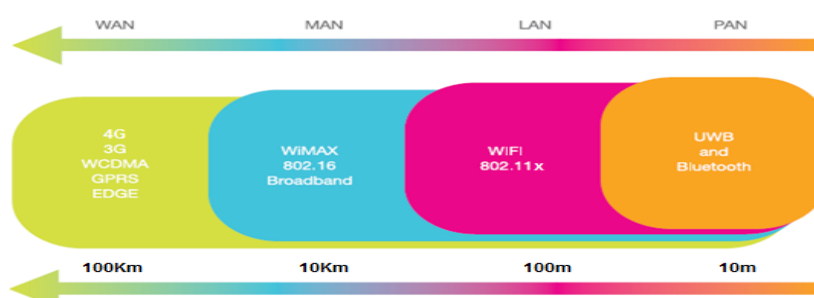
Los dispositivos 802.11ac transmiten alrededor de 75 mil paquetes por segundo, superando los 35 mil paquetes por segundo de 802.11n, para soportar este tráfico los puntos de acceso incorporan una memoria DRAM en cada radio para la entrega de paquetes su hardware es más sofisticado ya que el procesamiento es mayor (Cisco, 2014).

### 2.5.6 IEEE 802.11ad

Aprobado en 2014, es el primer estándar tri-banda aún se encuentra en desarrollo, presenta inconvenientes de alcance relacionados con la banda de operación ISM 60Ghz, su área de cobertura se limita a unos pocos metros. La velocidad de transmisión de 7Gbps, su objetivo es eliminar cables en la interconexión de dispositivos a distancias cortas. 802.11ad introduce la transferencia rápida de sesión que permite a los equipos el intercambio de banda de frecuencia de 60 a 5 y 2,4Ghz sin perder conexión basándose en criterios como desempeño óptimo y distancia con el punto de acceso (IEEE, 2013).

En la Figura 2.5 se muestran la clasificación de las redes inalámbricas, los estándares y las tecnologías utilizadas y la distancia de acción de las mismas.

Figura 2.5-. Tecnologías inalámbricas por área de acción



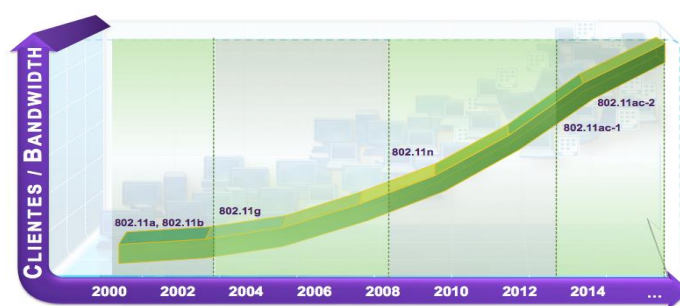
Tecnologías inalámbricas por área de acción. Fuente: (Ferrero & de la Cuesta, 2007, pág. 19)

El incremento del número de usuarios, así como el ancho de banda requerido en las redes de acceso inalámbricas se han logrado mediante la utilización de bandas que en

la mayor parte de naciones son declaradas libre y no presentan mayor número de requerimientos para la utilización de radio frecuencias de las bandas de 2,4 GHz y 5GHz, que son conocidas como bandas no licenciadas o bandas libres.

La evolución de las redes inalámbricas en cuanto al número de usuarios de este tipo de redes de acceso, así como al ancho de banda requerido y los estándares utilizados ha tenido lugar en los últimos quince años como se muestra en la Figura 2.6

Figura 2.6. Evolución de los estándares inalámbricos



Evolución de los estándares inalámbricos. Fuente: (Cisco, 2014)

Una comparación entre los distintos estándares 802.11x aprobados por la IEEE se muestran en la Tabla 2.6

Tabla 2.6.-Comparación de estándares inalámbricos IEEE.

Estándar	Año	Banda (GHz)	Canal (MHz)	Transmisión	Modulación	Compatible	Velocidad Max
802.11-1997	1997	2.4	22	DSSS, FHSS	DBPSK, DQPSK	N/A	2 Mbps
802.11a	1999	5	22	DSSS	BPSK, 64QAM	No	54 Mbps
802.11b	1999	2.4	20	OFDM	CCK	802.11	11 Mbps
802.11g	2003	2.4	22	DSSS	BPSK, 64QAM	B	54 Mbps
802.11n	2009	2.4/5	20, 40	OFDM	BPSK – 64QAM	a/b/g	600 Mbps

802.11ac	2012	5	20,40, 80,160	OFDM	BPSK – 256QAM	a/ b/g/n	6.9 Gbps
802.11ad	2013	60	20,40, 80,160	OFDM	BPSK – 256QAM	a/b/g/n/ac	7 Gbps

Comparación de estándares inalámbricos IEEE. Elaborado por Patricio Caisaguano

## 2.6 Protocolo NV2

Protocolo desarrollado por la empresa Mikrotik que tiene dos protocolos propietarios NSTREME que sondea tanto el transmisor como el receptor, esto puede incrementar la seguridad, pero reduce la eficiencia.

NV2 es un protocolo que utiliza una multiplexación TDMA para asignar tiempos de acceso a los clientes para su ingreso a la red controlando el tiempo en que el cliente pueda acceder a la red evitando los conocidos problemas de nodos ocultos.

Al ser un protocolo propietario los equipos tanto de transmisión como de recepción deben ser de una misma marca por lo que equipos que trabajen con estándar 802.11x es compatible con equipos NSTREME Y NV2, pero no de manera inversa (Burgess, 2012, pág. 232).

Las características principales del protocolo NV2 son las siguientes

- El acceso al medio está controlado por el AP, lo que permite una política centralizada de acceso.
- Reducción en el retardo de propagación del encabezado lo que se mejora significativamente el rendimiento.

La calidad de servicio QoS en equipos Mikrotik se implementa considerando el número de colas de prioridad, una cola se considerará para transmitir, sólo si todas las colas de mayor prioridad están vacías, basándose en las recomendaciones de 802.1D-2004 (Burgess, 2012, pág. 233).

La implementación de la seguridad en redes Nv2 tiene las siguientes características:

- Encriptación de datos acelerada por hardware usando AES-CCM con llaves de 128 bits.
- Saludo a 4 vías para acordar la llave (similar al de 802.11i).
- Método de autenticación de llave compartida (similar al de 802.11i).
- Actualización periódica del grupo de llaves (Usadas para datos de broadcast y multicast).

Al ser Nv2 un protocolo propietario, no hace uso de los mecanismos de seguridad de 802.11, por lo tanto, la configuración de la seguridad es diferente. La interfaz que usa el protocolo Nv2 ignora los parámetros de **security-profile**. En su lugar, la seguridad se configura desde los siguientes parámetros de la interfaz. (Burgess, 2012, pág. 234)

## **2.7 Infraestructura de red inalámbrica**

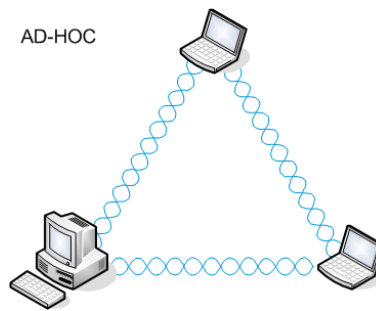
Las redes inalámbricas de área metropolitana WMAN tienen un alcance más amplio que las redes de área local inalámbrica WLAN, por esta razón la topología a utilizar está definida por el estándar 802.11 y establece tres modelos:

- Modo Ad-Hoc
- Modo Infraestructura
- Modo Mesh

### **2.7.1 Topologías Ad-Hoc**

En esta topología cada dispositivo se puede comunicar con los demás. Cada nodo forma parte de una red peer to peer P2P, para lo cual se necesita disponer de un SSID igual para todos los nodos y no sobrepasar el número de dispositivos que pueden saturar a la red. Dependiendo de la dispersión geográfica cada nodo más dispositivo pueden formar parte de la red, aunque algunos no se lleguen a verse entre sí como se muestra en la Figura 2.7 (Stallings, 2004, pág. 561).

Figura 2.7 - Red Ad-Hoc



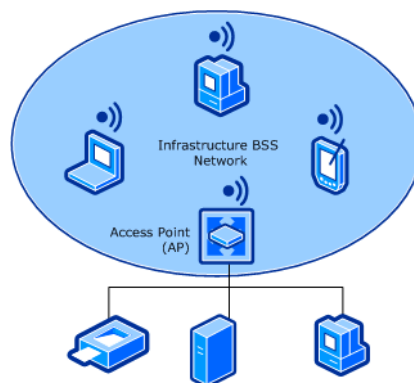
Fuente: (Stallings, 2004, pág. 561)

### 2.7.2 Topología en infraestructura

Se basa en un nodo central AP Access Point (punto de acceso) que sirve de enlace para todos los demás **CPE** (Customer Premises Equipment) que puede ser propiedad del cliente o suministrado por el proveedor de internet.

Para poder establecer comunicación todos los CPE deben estar dentro de la zona de cobertura del AP como se muestra en la Figura 2.8 (Microsoft, 2017).

Figura 2.8-. Topología en infraestructura

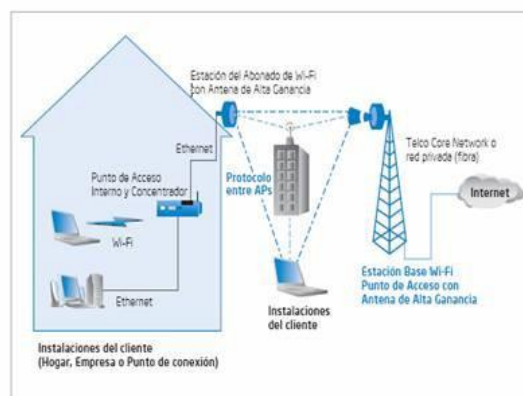


Fuente: (Microsoft, 2017)

### 2.7.3 Topología Mesh

Las redes Mesh conocidas como redes acopladas combinan las dos topologías de redes inalámbricas. Básicamente son redes con topología de infraestructura, pero permiten que se unan a la red dispositivos que no están dentro del área de cobertura del AP, pero está dentro del rango de alcance de algún Tx que directa o indirectamente se encuentra conectado al AP como se muestra en la Figura 2.9

Figura 2.9-. Red topología Mesh



Fuente: (Aruba, 2015)

## 2.8 Elementos de red inalámbrica:

Son los componentes que conforman la red inalámbrica WLAN y son los dispositivos finales y los puntos de acceso que son los que se enlazan con los AP presentes en la infraestructura para tener acceso a Internet.

### 2.8.1 Dispositivos finales

son los dispositivos mediante los cuales los usuarios tienen acceso a la red inalámbrica están provistos de una NIC inalámbrica o mediante dispositivos USB. Los dispositivos finales generalmente son computadores, impresoras y objetos de uso diario como Smartphones, televisores entre otros.

### **2.8.2 Puntos de acceso**

es el centro de comunicaciones de la mayoría de las redes inalámbricas. El AP no es solamente el medio de acceso de los terminales inalámbricos, sino que es el puente de interconexión entre los dispositivos finales una red LAN y el Internet.

Las funciones principales de los puntos de acceso AP son:

- Ampliar el área de cobertura entre los dispositivos móviles (cliente) y el receptor de señal o punto de acceso.
- Es un gestor del tráfico de red inalámbrica entre los terminales inalámbricos más próximos al punto de acceso AP.
- Gestionar varios clientes terminales dependiendo a la capacidad del punto de acceso.

## **2.9 Modos de operación de AP**

Los puntos de acceso pueden ser configurados para funcionar en modo root, modo repetidor y modo puente.

### **2.9.1 Modo root**

Modo por defecto en el que pasa a formar parte de un sistema de distribución mediante la interface ethernet los usuarios inalámbricos pueden acceder a la red a través de un solo AP compartiendo la conexión. Se pueden comunicar con otros AP conectados a la red cableada permitiendo roaming (Butler, y otros, 2013, pág. 133)

### **2.9.2 Modo repetidor**

Modo que se utiliza para incrementar el área de cobertura permitiendo la interconexión de AP de manera inalámbrica, la desventaja de este sistema es que el ancho de banda se divide a la mitad al atravesar cada repetidor y las celdas deben tener un 50% de solapamiento para su funcionamiento (Butler, y otros, 2013, pág. 133)



### **2.9.3 Modo Puente**

Modo bridge (puente) que permite interconectar AP mediante un enlace punto-punto que permiten únicamente el intercambio de información entre los AP, se pueden utilizar antenas directivas para reducir las pérdidas de propagación en espacio libre y focalizar la señal en el siguiente AP.

## **2.10 Seguridad en redes**

Hay que tomar en cuenta que las redes usan un procesamiento distribuido entre los múltiples usuarios que están conectados a la misma, por lo que es necesario tomar en cuenta muchos aspectos para que la red sea considerada efectiva y eficiente, entre los más importantes podemos tomar en consideración los siguientes:

- Rendimiento
- Fiabilidad
- Seguridad

### **2.10.1 Rendimiento**

El rendimiento se puede medir de muchas formas, incluyendo el tiempo de tránsito y de respuesta. El tiempo de tránsito es la cantidad de tiempo necesario para que un mensaje viaje desde un dispositivo al siguiente. El tiempo de respuesta es el tiempo que transcurre entre una petición y su respuesta. El rendimiento de una red depende de varios factores, incluyendo el número de usuarios, el tipo de medio de transmisión, la capacidad del hardware conectado y la eficiencia del software.

El rendimiento se mide a menudo usando dos métricas: ancho de banda y latencia. A menudo hace falta.

más ancho de banda y menos latencia. Sin embargo, ambos criterios son a menudo contradictorios. Si se intenta enviar más datos por la red, se incrementa el ancho de banda, pero también la latencia debido a la congestión de tráfico en la red (Forouzan, 2007, pág. 7).

### **2.10.2 Fiabilidad**

Además de por la exactitud en la entrega, la fiabilidad de la red se mide por la frecuencia de fallo de la misma, el tiempo de recuperación de un enlace frente a un fallo y la robustez de la red ante una catástrofe (Forouzan, 2007, pág. 8).

### **2.10.3 Seguridad**

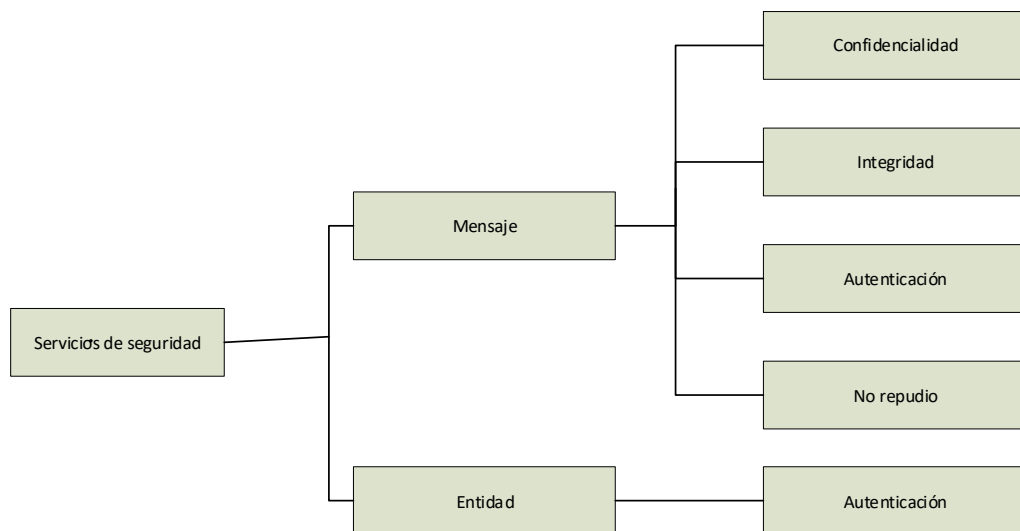
Los aspectos de seguridad de la red incluyen protección de datos frente a accesos no autorizados, protección de datos frente a fallos y modificaciones e implementación de políticas y procedimientos para recuperarse de interrupciones y pérdidas de datos (Forouzan, 2007, pág. 8).

La seguridad en redes se consigue principalmente mediante el uso de criptografía, pero es sola la base de la seguridad por lo que se hace necesario la implementación de servicios de seguridad de privacidad y autenticación en los niveles de red, transporte y aplicación de Internet como son los protocolos IPSec, que añaden autenticación y confidencialidad a IP y SSL o (TLS) que hace lo mismo para el protocolo TCP, además de cortafuegos (firewall) que es un elemento fundamental para controlar el acceso a la red.

### **2.10.4 Servicios de seguridad**

La seguridad de red puede proporcionar típicamente, cinco servicios de los cuales cuatro de ellos están relacionados con los mensajes que se intercambian usando la red: confidencialidad, autenticación, integridad y no repudio, el quinto proporciona autenticación de identidad o identificación para el acceso a la red como se muestra en la Figura 2.10 (Forouzan, 2007, pág. 767).

Figura 2.10.-Servicios de Seguridad



Servicios de Seguridad. Elaborado por: Patricio Caisaguano

### 2.10.5 Filtrado MAC

La capa *Medium Access Control* (MAC), capa inferior base de la Conexión de datos, constituye el núcleo de Wi-Fi.

Esta capa debe administrar los canales de comunicación o, más bien, la ausencia de canales de comunicación físicos, caracterizados por una frecuencia de radio. Este canal debe compartirse entre los distintos nodos de la red. Cada uno posee su propia dirección MAC, como en Ethernet.

El mecanismo de gestión de los soportes de comunicación no puede utilizar la detección de colisiones, impensable en una red inalámbrica. Por ello se utiliza una solución que evita las tramas de tipo CSMA/CA. La gestión de la división del ancho de banda no es, ni mucho menos, la única utilización de la capa MAC. Antes de emitir datos hacia un punto de acceso, un equipo debe conectarse a *Basic Service Set* (BSS), la red del equipo administrador. Pero antes será necesario un proceso de asociación, y antes de eso, puede que el punto de acceso pida la autenticación del equipo. También pueden presentarse otras problemáticas a este nivel.

Se gestionan la fragmentación/desfragmentación de las tramas transmitidas, así como la administración de la capacidad para comunicar a distintas velocidades. Tampoco

se deben olvidar los controles de error y el ahorro de energía. La seguridad también se puede administrar en la capa MAC (Dordoigne, 2015, pág. 192).

En equipamientos de la marca Mikrotik es sencillo realizar esta tarea pues cuenta con una herramienta gráfica que facilita implementar este y muchos servicios más.

#### **2.10.6 Protocolos AAA**

Conjunto de procedimientos desarrollados para tener autenticación, autorización y auditoría a control de las actividades realizadas por los diferentes usuarios que tienen acceso a la infraestructura de red. Las siglas AAA representan autenticación, autorización y auditoría que se describen a continuación.

- Autenticación (Authentication): determina si la identidad y credenciales proporcionados por el usuario se encuentran registrados en la base de datos del servidor AAA, el servidor evalúa los datos recibidos y resuelve permitir o restringir el acceso a la red (López, 2015).
- Autorización (Authorization): se encarga de la concesión de servicios específicos a un usuario según el grado de privilegios con los que cuenta basándose en reglas establecidas por el administrador de red (López, 2015).
- Auditoría (Accounting): se encarga registrar los eventos que ocurren en la red (López, 2015).

Existen diferentes protocolos que desempeñan servicios AAA entre ellos RADIUS, DIAMETER, TACACS, TACACS+.

#### **2.10.7 IPSec**

Es un conjunto de protocolos definidos por el Internet Engineering Task Force (IETF) para asegurar el intercambio de paquetes sobre redes IP / IPv6 sin protección como Internet.

IPSec está diseñado para asegurar diferentes tipos de seguridad:

- Confidencialidad y protección contra el análisis del tráfico, a través del cifrado.
- Autenticidad de los datos y control de acceso a través de la autenticación mutua de los dos extremos de la comunicación, la firma, así como cálculos de integridad.
- Protección contra la inyección de paquetes.

La repetición (replay) es una técnica que puede utilizar un intruso y que consiste en reenviar paquetes capturados durante una comunicación de red. El servidor recibe así la misma información repetida y sistemáticamente tiene que volver a procesarla y puede malinterpretar estos paquetes idénticos. Para evitar esta relectura, esta función anti repetición añade un número de secuencia a la información. Así, el servidor es capaz de distinguir los paquetes que ya ha recibido y no volverá a tratarlos.

IPSec distingue dos niveles de protección a través de dos protocolos:

- Authentication Header (AH), que solo se ocupa de la autenticación, el control de integridad y la anti repetición.
- *Encapsulating Security Payload* (ESP), que agrega la función de confidencialidad.

AH y ESP se pueden utilizar de manera conjunta o por separado, en función del nivel de protección deseado (Dordogne, 2015, pág. 257).

## **CAPÍTULO 3**

### **DISEÑO DE RED**

#### **3.1 Criterio de diseño**

En el presente capítulo se analizarán y establecerán los parámetros técnicos que se deben cumplir para un correcto funcionamiento y la simulación del WISP (Wireless Internet Service Provider) para la ciudad de Pedernales en Manabí Ecuador.

El diseño está basado en una infraestructura inalámbrica de marca MIKROTIK por su facilidad de instalación como de administración de la red, debemos tomar en cuenta los principales tipos de topologías de red inalámbrica que se pueden implementar, como lo son en infraestructura y Mesh para redes inalámbricas de cobertura extendida.

Las consideraciones a tomarse en cuenta en cuanto al diseño del WISP son las siguientes:

- Calidad de servicio
- Escalabilidad
- Seguridad
- Número de usuarios
- Manejo de ancho de banda
- Aplicaciones a implementar
- Administración
- Interoperabilidad
- Área de cobertura

### **3.2 Tecnología**

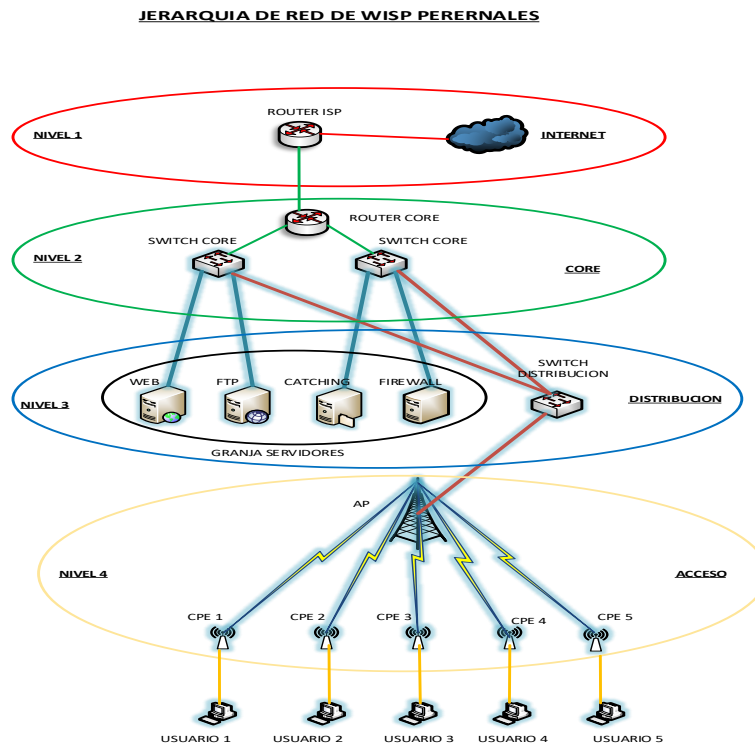
La tecnología propuesta para el diseño y la simulación de la red es tecnología inalámbrica que cumpla con los estándares inalámbricos anteriormente citados 802.11 a y 802.11n para un trabajo en la banda de 5GHz, al ser esta una banda no licenciada debemos tomar en cuenta los siguientes aspectos:

- No se necesita un permiso para el uso de esta frecuencia en el espectro radioeléctrico
- Se integra fácilmente a redes cableadas
- Multitud de fabricantes de equipamiento
- Costos de implementación menor
- Compatibilidad entre los estándares 802.11.a y 802.11n
- Mayor inmunidad a ruido electromagnético e interferencia

### 3.3 Infraestructura de red

En el diseño de la infraestructura de red del WISP para la ciudad de Pedernales se lo realizará mediante el modelo de niveles jerárquicos, donde se describe las características y el comportamiento de cada uno de los niveles en los que se divide el ISP como se muestra en la Figura 3.1.

Figura 3.1-. Diseño jerárquico de red de WISP Pedernales



Elaborado por: Patricio Caisaguano P. (2018)

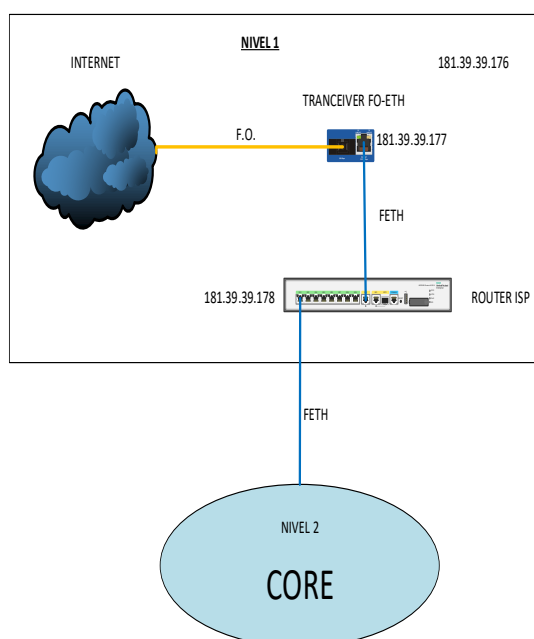
### 3.4 Modelo jerárquico

El diseño planteado será descrito utilizando un modelo jerárquico como el descrito en la Figura 3.2, para cada nivel se describen las características de comportamiento y rendimiento presentes en el diseño en los que se divide la red del WISP, en cada uno de los niveles se pueden implementar diferentes configuraciones en las distintas capas L2, L3, con lo que se permite un mejoramiento en la escalabilidad, rendimiento, redundancia, incremento en el número de usuarios en la red, monitorización de los recursos y poder implementar nuevos cambios tecnológicos para un mejor rendimiento de la red.

### 3.5 Nivel 1

Nivel superior en el cual se tiene el acceso a Internet proporcionado por el proveedor NEDETEL S.A., el cual brinda un Clear Chanel para implementar el servicio de acceso a Internet que será comercializado por la empresa. El equipamiento es provisto por la empresa que provee el servicio, el cual utiliza como medio de transporte fibra óptica mono modo y un tranciever de F.O. a Fast Ethernet que utiliza el Router proporcionado por la empresa para cumplir la función de Gateway de la red a implementarse en el WISP, como se muestra en la Figura 3.2.

Figura 3.2-. Equipamiento de acceso a Internet provisto por NEDETEL



Elaborado por: Patricio Caisaguano (2018)

El pool de direcciones IP públicas asignadas se muestran en la Tabla 3.1

Tabla 3.1.- Pool Direccionamiento IP público



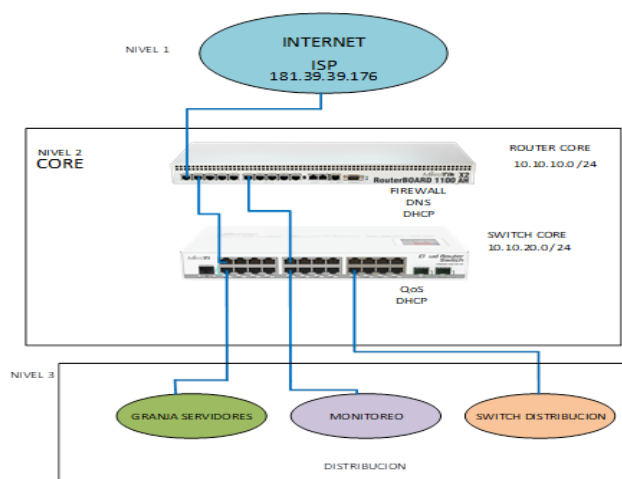
RED	181.39.39.176
MASCARA	255.255.255.248
GATEWAY	181.39.39.177
DNS 1	200.93.192.148
DNS 2	200.93.192.161
IP DISPONIBLES	181.39.39.178 - 181.39.39.182

Elaborado por: Patricio Caisaguano P. (2018)

### 3.6 Nivel 2

En este nivel del modelo jerárquico, corresponde al núcleo o Core del WISP pues es aquí donde se permite alternativas para poder segmentar, tanto los dominios de colisión como los de broadcast, mediante el uso de Routers y switches de capa 3 que forman parte del backbone de la red principal, es en este nivel donde se provee el control de calidad QoS, enrutamiento estático y dinámico, clasificación y priorización de tráfico mediante el uso de equipos de marca Mikrotik como se muestra en la Figura 3.3.

Figura 3.3-. Equipamiento Nivel 2 CORE WISP



Elaborado por: Patricio Caisaguano (2018)

### 3.6.1 Direccionamiento

El direccionamiento para el Router de CORE es proporcionado mediante el uso de las direcciones publicas otorgadas por el proveedor de Internet NEDETEL y se lo aplica en la interfaz Fast Ethernet 1 FE0 teniendo así el enlace WAN, como se muestra en la Tabla 3.2:

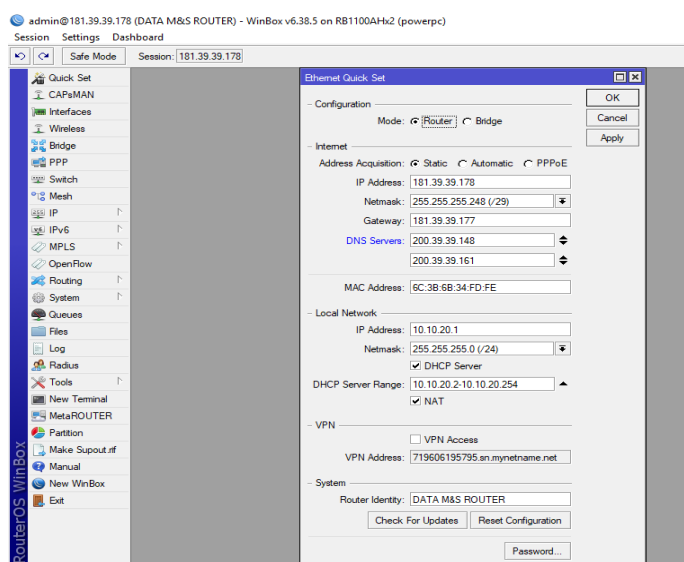
Tabla 3.2-. INTERFAZ WAN

INTERFAZ WAN	
DIRECCION IP	181.39.39.178
MASCARA	255.255.255.248
GATEWAY	181.39.39.177
DNS 1	200.93.192.148
DNS 2	200.93.192.161

Elaborado por: Patricio Caisaguano P. (2018)

La configuración de la interface WAN se la realiza mediante el programa WINBOX de Mikrotik como se muestra en la Figura 3.4.

Figura 3.4-. Configuración ROUTER CORE

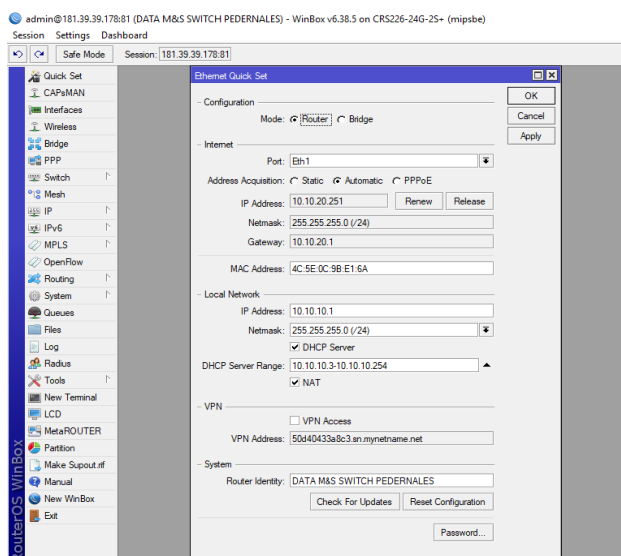


Configuración Router Core. Elaborado por: Patricio Caisaguano (2018)

La configuración del SWITCH CORE es similar a la del ROUTER CORE diferenciándose entre los servicios que cada uno de estos equipos ofrecen para la implementación y la mejora del rendimiento de la red.

El Router Core provee el servicio de DHCP para el Switch Core como se muestra en la Figura 3.5.

Figura 3.5-. Configuración SWITCH CORE



Elaborado por: Patricio Caisaguano (2018)

### 3.6.2 Enrutamiento

En el Core de WISP se realiza un enrutamiento estático para interconectar las redes que lo conforman, como se muestran en las Figuras 3.6 y 3.7 tanto para el Router Core y para el Switch Core.

Figura 3.6-. Tabla enrutamiento Router Core

Route List						
Routes						
	Dist.	Address	Gateway	Distance	Routing Mark	Pref. Source
AS	0	0.0.0.0/0	186.3.61.153 reachable ether1	1		
DAC	10	10.10.10.0/24	bridge1 reachable	0		10.10.10.1
AS	10	10.10.20.0/24	10.10.10.252 reachable bridge1	1		
DAC	186	3.61.128/...	ether1 reachable	0		186.3.61.154
AS	192	168.200.0...	10.10.10.252 reachable bridge1	1		

Elaborado por: Patricio Caisaguano (2018)

La configuración de enrutamiento estático del Router Core es el siguiente:

Figura 3.7-. Tala enrutamiento Switch Core

	Dist. Address	Gateway	Distance	Routing Mark	Pref. Source
DAS	0.0.0.0/0	10.10.20.1 reachable ether1	1		
DAC	10.10.10.0/24	bridge1 reachable	0		10.10.10.1
DAC	10.10.20.0/24	ether1 reachable	0		10.10.20.251
AS	192.168.100.0...	10.10.10.251 reachable bridge1	1		

4 items

Elaborado por: Patricio Caisaguano (2018)

### 3.6.3 Redirección de puertos

Conocido como port-forwarding permite la redirección hacia un puerto cuando se accede a la administración de un dispositivo en la red mediante un explorador de internet o utilizando la herramienta de administración WINBOX propiedad de Mikrotik como se muestra en la Figura 3.8.

Figura 3.8-. Port-Fordwarding ROUTER CORE

#	Action	Chain	Src. Address	Dst. Address	Proto...	Src. Port	Dst. Port	In. Inter...	Out. Int...	Bytes	Packets
0	mas...	srcnat								584.6 KiB	9 293
1	mas...	srcnat							WAN	0 B	0
2	-ll* dst-...	dstnat		181.39.39....	6 (tcp)		81			204 B	4
3	-ll* dst-...	dstnat		181.39.39....	6 (tcp)		82			0 B	0
4	-ll* dst-...	dstnat		181.39.39....	6 (tcp)		249			0 B	0
5	-ll* dst-...	dstnat		181.39.39....	6 (tcp)		243			0 B	0
6	-ll* dst-...	dstnat		181.39.39....	6 (tcp)		248			0 B	0
7	-ll* dst-...	dstnat		181.39.39....	6 (tcp)		253			0 B	0

8 items

Elaborado por: Patricio Caisaguano (2018)

### 3.7 Nivel 3

En este nivel el equipamiento está encargado de realizar la conmutación de los paquetes a nivel de capa 2 del modelo OSI para obtener acceso a cada uno de los servicios del ISP.

Aquí se realiza el control y monitoreo de los recursos de la red y el acceso de los enlaces de radio que se realiza mediante el AP con lo que se tiene acceso a cada uno de los CPE terminales que se encuentran en la ubicación del usuario final.

Los servicios a implementarse en el servidor son:

- Catching
- Monitoreo

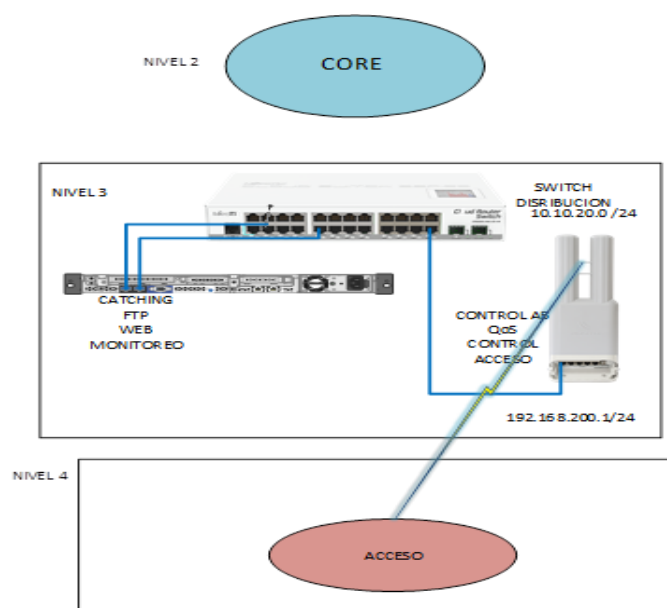
Los servicios de DNS, firewall, DNS, control de ancho de banda, control de acceso serán implementados en el equipamiento de la marca Mikrotik anteriormente detallados.

Los servicios de Catching y Monitoreo serán implementados en un Servidor HP-Proliant DL120 9Gen en un sistema operativo Linux Centos 7.0.

El servicio de monitoreo de los recursos de la red será realizado utilizando la herramienta DUDE que será instalada un equipo Mikrotik, el servicio de Catching se lo realizara utilizando Squid en el servidos Linux.

El equipamiento que se utiliza para esto se muestra en la Figura 3.9.

Figura 3.9-. Equipamiento Distribución



Elaborado por: Patricio Caisaguano (2018)

### 3.7.1 Control de ancho de banda

El control de ancho de banda se lo realiza utilizando un árbol de colas simple QUEUE en el AP lo que permite asignar a cada cliente un ancho de banda AB determinado como se muestra en la Figura 3.10.

Figura 3.10-. Control de ancho de banda

admin@6C:3B:6B:5E:F2:B7 (DATA M&S AP AL CARMEN) - WinBox v6.40 on OmniTIK 5 (mipsbe)

Session Settings Dashboard

Safe Mode Session: 6C:3B:6B:5E:F2:B7

#	Name	Target	Upload Max Limit	Download Max Limit	Packet Marks	Total M
0	CPE1-EC	192.168.200.249	2M	2M		
2	CPE2-EC	192.168.200.248	2M	2M		
1	CPE3-EC	192.168.200.247	3M	3M		
4	CPE4-EC	192.168.200.249	2M	2M		
3	CPE5-EC	192.168.200.244	2M	2M		
5	CPE6-EC	192.168.200.242	2M	2M		
6	CPE7-EC	192.168.200.252	2M	2M		
8	CPE8-EC	192.168.200.251	2M	2M		
7	CPE9-EC	192.168.200.253	2M	2M		
9	CPE10-EC	192.168.200.250	2M	2M		

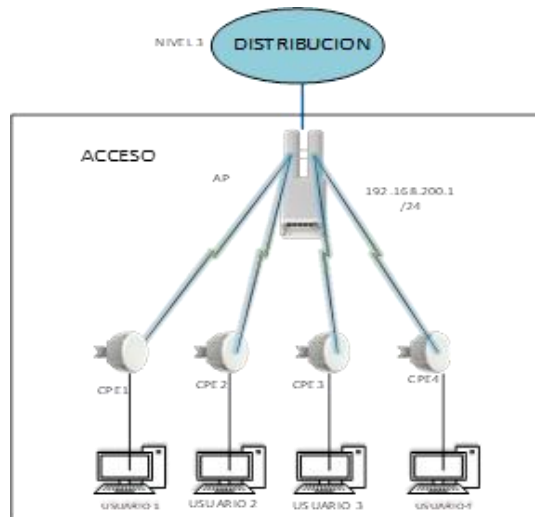
10 items 0 B queued 0 packets queued

Elaborado por: Patricio Caisaguano (2018)

### 3.8 Nivel 4

Este nivel corresponde a la capa de acceso al usuario a los distintos servicios que provee el WISP mediante enlaces inalámbricos como se muestra en la Figura 3.11.

Figura 3.11-. Equipamiento Acceso



Elaborado por: Patricio Caisaguano (2018)

Hay que indicar que cada uno de los dispositivos pueden funcionar en uno de los siguientes modos:

- Bridge
- Router
- Switch (RB1100AHX2)

La selección del equipamiento en la marca Mikrotik se debe a su fácil instalación y administración centralizada.

### 3.9 Área de cobertura

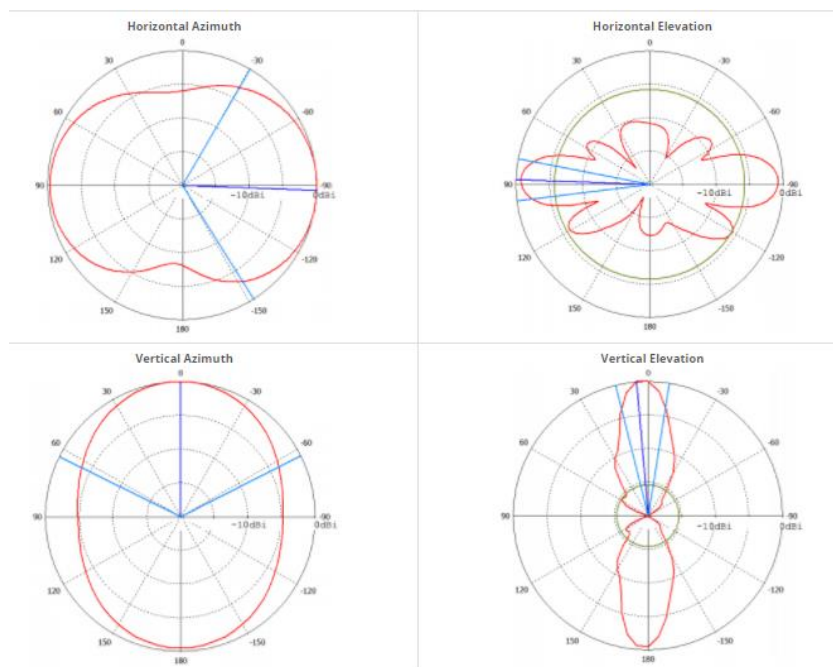
El área de cobertura hace referencia al área geográfica en la que el servicio puede ser prestado, tomando en cuenta las pérdidas en el espacio libre, vegetación lluvias y el modelo urbano en el que la red va a trabajar.

Para la ubicación del punto de acceso principal AP tomaremos las siguientes coordenadas geográficas:

Ciudad: Pedernales  
Latitud: 0° 04' 6,6" S  
Longitud: 80° 03' 11,2" W  
Altura: 27 msnm.

La antena encargada de irradiar la señal estará elevada 33 m. desde el piso con lo que la altura resultante para el cálculo de los enlaces punto multipunto es de 60 msnm, se tomarán 5 ubicaciones para realizar los cálculos y los gráficos sobre el área de cobertura resultante utilizando la banda de 5GHz, al ser esta una banda no licenciada. Se utilizará una antena omnidireccional cuyos patrones de radiación se muestran en la Figura 3.12

Figura 3.12-. Patrón de radiación antena omnidireccional



Fuente: Mikrotik 2018

### 3.10 Radio Mobile

Radio Mobile es un software de distribución libre para el cálculo de radio enlaces de larga distancia en terreno irregular al utilizar el modelo de propagación de Longley-Rice. Para ello utiliza perfiles geográficos combinados con la información de los equipos (potencia, sensibilidad del receptor, características de las antenas, pérdidas, etc.) que quieren simularse.



### 3.10.1 Ubicación AP

La ubicación del AP se ha escogido por razones de facilidad de abastecimiento eléctrico, ubicación de los servidores e infraestructura del CORE del WISP

Los parámetros de ubicación geográfica se muestran en la Figura 3.13:

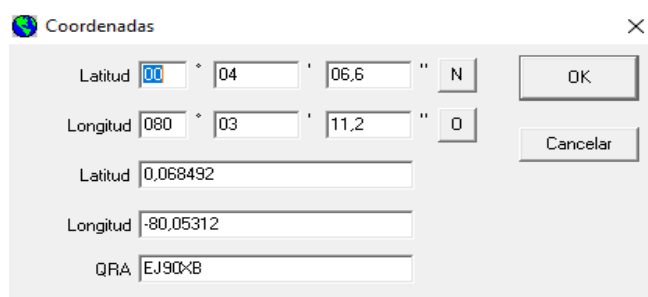
Ciudad: Pedernales

Latitud: 0° 04' 6,6" N

Longitud: 80° 03' 11,2" W

Altura: 43 msnm

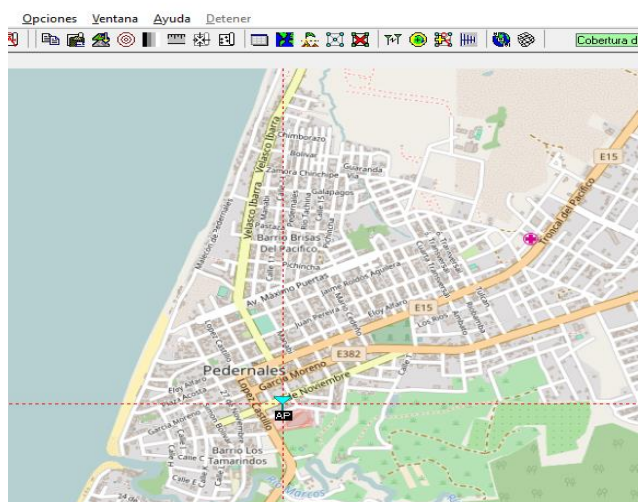
Figura 3.13-. Coordenadas AP



Elaborado por: Patricio Caisaguano (2018) Radio Mobile

El punto de acceso AP se lo ubica en este software como se muestra en la Figura 3.14:

Figura 3.14-. Ubicación AP (Pedernales)



Elaborado por: Patricio Caisaguano (2018)

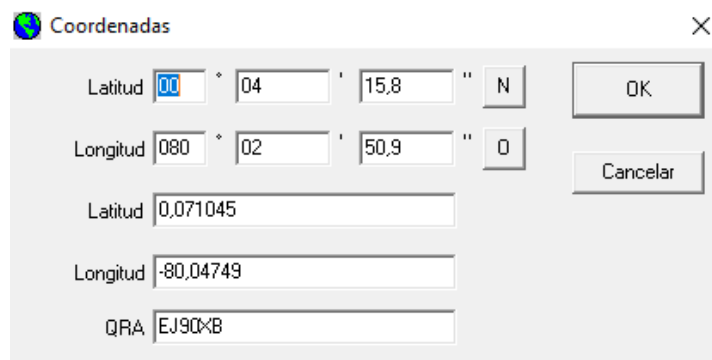
### 3.10.2 Ubicación clientes

El cliente se encuentra ubicado en una posición diferente del AP, las coordenadas del cliente son las siguientes:

Ciudad: Pedernales  
Latitud: 0° 04' 15,8" N  
Longitud: 80° 02' 50,9" W  
Altura: 43 msnm

Las coordenadas ingresadas en el software de simulación Radio Mobile se muestran en la Figura 3.15.

Figura 3.15-. Ubicación CPE1 Pedernales



The image shows a software window titled "Coordenadas" with a close button (X) in the top right corner. Inside the window, there are input fields for Latitude and Longitude. The Latitude field is set to 00° 04' 15.8" N, and the Longitude field is set to 080° 02' 50.9" W. Below these, there are decimal representations: Latitude 0.071045 and Longitude -80.04749. There is also a field labeled "QRA" with the value "EJ90XB". At the bottom right, there are two buttons: "OK" and "Cancelar".

Elaborado por: Patricio Caisaguano (2018) Radio Mobile

Se tomó en cuenta la recomendación del modelo de propagación Longley-Rice con lo que se elevan las alturas efectivas de las antenas de transmisión y recepción de la siguiente manera:

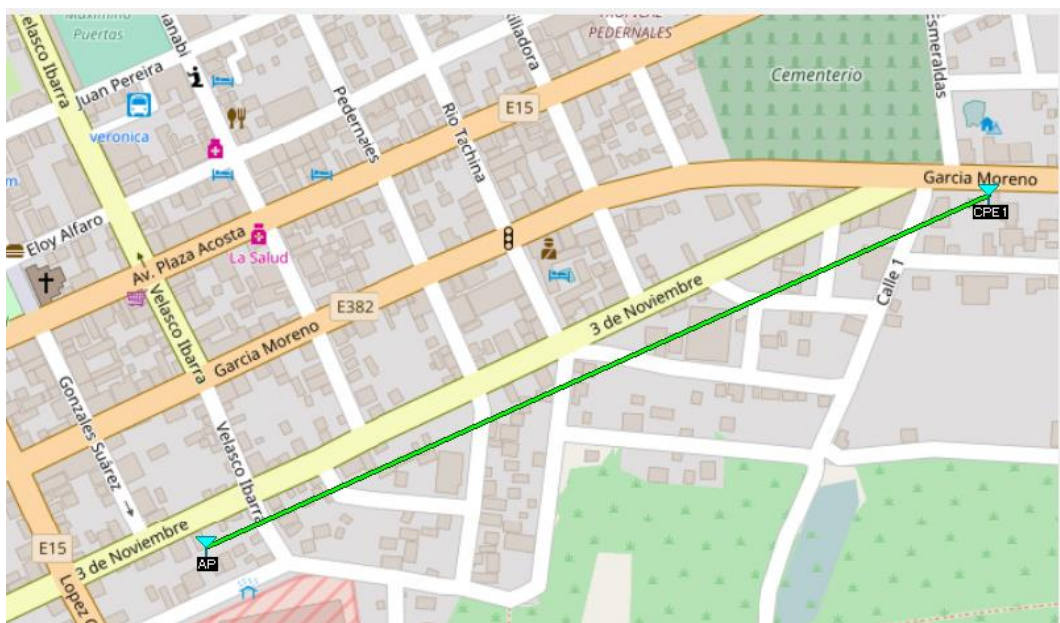
- Se utiliza una torre no auto-soportada de 30m. con lo que la altura efectiva de transmisión es de 60m.
- Se eleva la altura efectiva de recepción mediante la utilización de un mástil que se coloca sobre la parte más elevada de la infraestructura de recepción

Mediante la elevación de las alturas efectivas tanto de transmisión y recepción se logra tener una línea de vista LOS sin obstrucción, pues las alturas efectivas están sobre el promedio de la altura de las construcciones presentes en la ciudad de Pedernales.

La primera zona de Fresnel se encuentra despejada pues no existen obstrucciones ni físicas ni topográficas para realizar el radio enlace con línea de vista LOS.

Se cuenta con línea de vista LOS con lo que se tiene la siguiente ubicación y el enlace de radio punto-punto como se muestra en la Figura 3.16:

Figura 3.16.- Radio enlace AP-CPE1

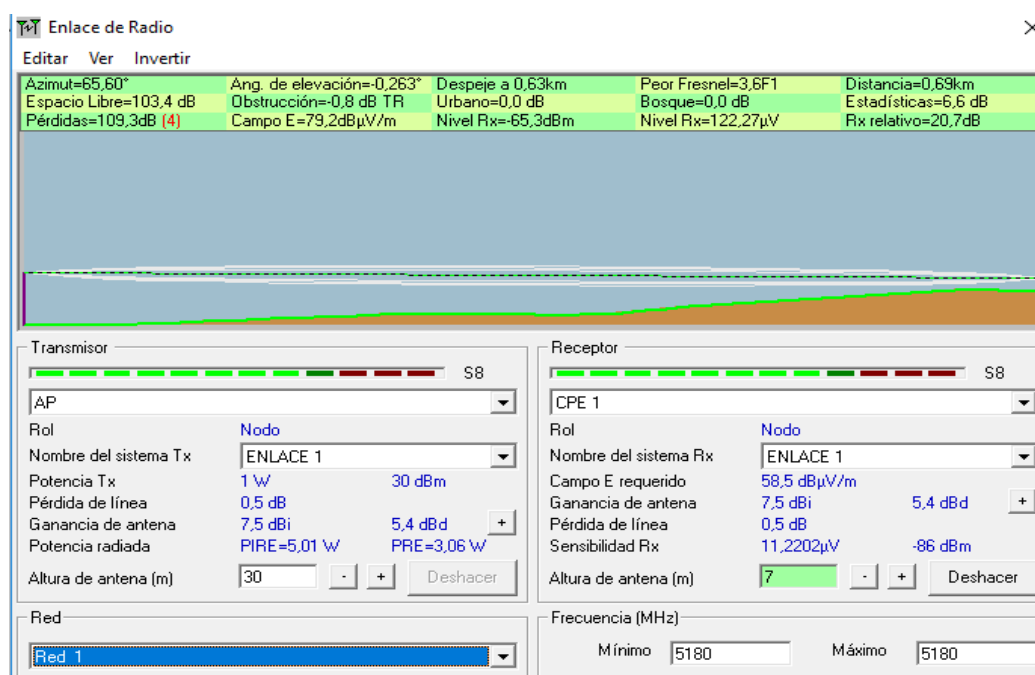


Elaborado por: Patricio Caisaguano (2018) Radio Mobile

### 3.10.3 Perfil de terreno

El trazo del perfil topográfico del terreno se lo realiza mediante el uso de cartas topográficas y tomando en cuenta las correcciones que se deben realizar por la curvatura de la tierra, estos cálculos y consideraciones son tomadas en cuenta por el software utilizado y se muestran el perfil topográfico y la zona de Fresnel en la Figura 3.17:

Figura 3.17-. Perfil topográfico y zona de Fresnel enlace AP-CPE1



Elaborado por: Patricio Caisaguano (2018) Radio Mobile

### 3.11 Parámetros técnicos equipamiento

Las características de le equipos de transmisión se muestran en la Tabla 3.3

Tabla 3.3.-Parámetros equipo Transmisión

EQUIPO TRANSMISION	
POTENCIA TRANSMISION	26dBm
GANANCIA ANTENA	5.5dBi
FRECUENCIA	5280MHz

Elaborado por: Patricio Caisaguano P. (2018)

Las características de le equipos de recepción se muestran en la Tabla 3.4

Tabla 3.4.-Parámetros equipo Recepción

EQUIPO RECEPCION	
UMBRAL RECEPCION	-96dBm
GANANCIA ANTENA	16dBi
FRECUENCIA	5280MHz

Elaborado por: Patricio Caisaguano P. (2018)

### 3.12 Presupuesto de energía

Tomando en cuenta el modelo energético tenemos el siguiente presupuesto energético en la realización del radio enlace

$$P_T = U_{Rx} + L_{tt} + L_{at} - G_t + L_b - G_r + L_{aR} + L_{tr}$$

Donde tenemos:

$$f=5,180\text{GHz}, d=0,59\text{km}$$

$$L_b = 92,45 + 20 \log(f \text{ (GHz)}) + 20 \log(d \text{ (km)})$$

$$L_b=111,48\text{dB}$$

Luego tenemos:

$$P_{Rx} = P_{Tx} - L_{tt} - L_{at} + G_t - L_b + G_r - L_{ar} - L_{tr}$$

$$P_{Tx}=26\text{dBm}-0\text{dB}-0,5\text{dB}+6.6\text{dBm}-111.4\text{db}+16\text{dBm}-0\text{dB}-0,5\text{dB}$$

$$P_{Rx}=-62.8\text{dBm}$$

$$P_{Rx}>U_{Rx}$$

Con este valor de potencia presente en el receptor el enlace es factible

$$\text{Con } f=2,400\text{GHz}, d=0,59\text{km}$$

$$L_b=96,09\text{dB}$$

$$P_{Tx}=26\text{dBm}-0\text{dB}-0,5\text{dB}+6.6\text{dBm}-96.09\text{db}+16\text{dBm}-0\text{dB}-0,5\text{dB}$$

$$L_b=-47.49\text{dB}$$

$$P_{Rx}>U_{Rx}$$

Con este valor de potencia presente en el receptor el enlace es factible

### 3.13 Confiabilidad del enlace

El parámetro de confiabilidad está regulado por la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones ARCOTEL por lo que se establece en un porcentaje del 98% como valor mínimo del ancho de banda contratado (ARCOTEL, 2009).

### 3.14 Indisponibilidad del servicio

La indisponibilidad total del servicio hace referencia a la sumatoria de los intervalos de tiempo de indisponibilidad dividida por el tiempo de observación como se expresa en la fórmula 19 (ARCOTEL, 2009).

$$U = \frac{\sum T_{ind}}{T_T} \times 100\% \quad \text{Ec. (3.1)}$$

Para el enlace se tiene el siguiente la siguiente proyección de indisponibilidad

$$T_{ind} = 8 \text{ h}$$

$$T_T = 1 \text{ año} = 8760 \text{ h}$$

$$U = 0,0913\%$$

### 3.15 Zona de Fresnel

El cálculo de la zona de Fresnel se realiza mediante la Ecuación Ec. (3.2)

$$R = 17,32 \sqrt{\frac{D}{4xF}} \quad \text{Ec. (3.2)}$$

Donde

D=distancia Km

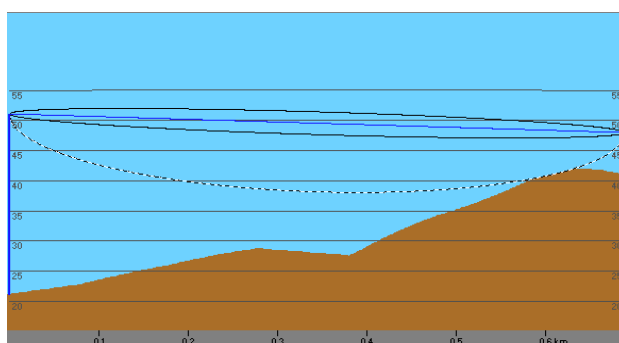
F=frecuencia MHz

Con lo que se tiene para el diseño propuesto

$$R = 17,32 \sqrt{\frac{0,69}{4 \times 5}} = 3,21m$$

Con lo que se tiene que el enlace se lo puede realizar como se muestra en a Figura 3.18

Figura 3.18-. Zona de Fresnel de enlace AP-CPE1

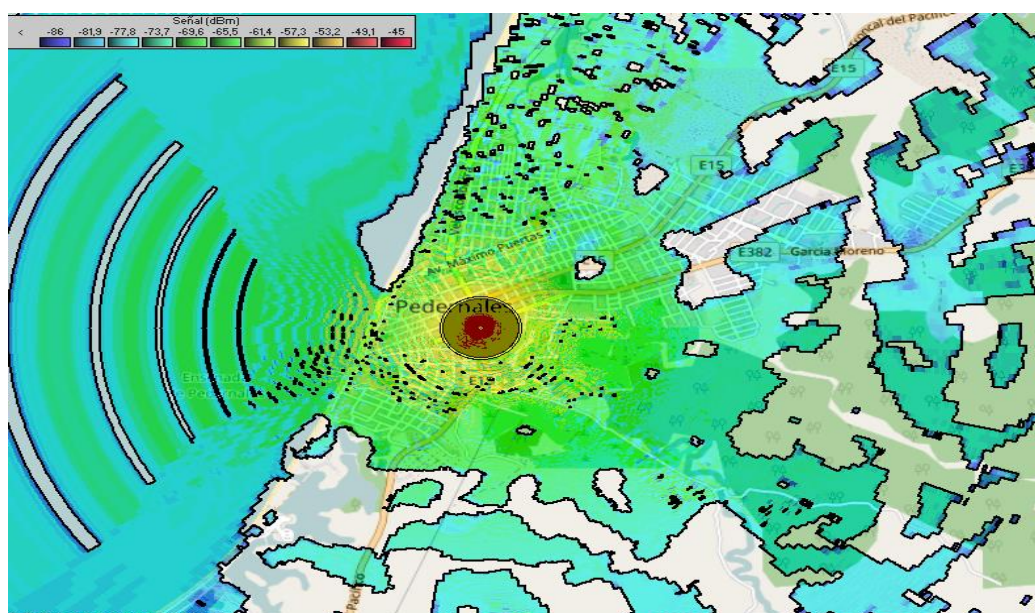


Elaborado por: Patricio Caisaguano (2018) Radio Mobile

El servicio se lo puede brindar tomando en consideración que el equipo receptor CPE cuenta con línea de vista directa con el punto de acceso AP con un umbral de recepción de -79 dBm para que pueda transmitir de una manera eficiente.

El área de cobertura con una señal de -79dBm que garantizan un correcto funcionamiento del radioenlace y del servicio de acceso a Internet se muestra en la Figura 3.19.

Figura 3.19-. Zona obertura AP Pedernales



Elaborado por: Patricio Caisaguano (2018)

### 3.16 Proyección de demanda

La proyección de demanda del servicio de acceso a internet se lo realiza mediante la Ecuación Ec. (3.3) que corresponde a una tasa de crecimiento geométrico.

$$C_f = C_i * (1 + X)^n \quad \text{Ec. (3.3)}$$

Donde tenemos:

Cf: capacidad dentro de n años

Ci: capacidad inicial

X: tasa de crecimiento

n: número de años

la tasa de crecimiento se la obtiene despejándola de la Ecuación Ec. (3.1) y se tiene

$$X = \left( \frac{C_f}{C_i} \right)^{\frac{1}{n}} - 1$$

Con las proyecciones de crecimiento propuesto por la empresa se tiene los siguientes resultados a obtenerse

Ci=30 clientes

Cf=300 clientes

N=2 año

$$X = \left( \frac{300}{30} \right)^{\frac{1}{2}} - 1 = 2.16$$

Con lo que se espera tener un numero de 300 clientes en un lapso de 2 años.



## **CAPÍTULO 4**

### **SIMULACIÓN DE PROYECTO**

#### **4.1 Simuladores**

Existen varios tipos de simulaciones que buscan imitar el comportamiento de muchas topologías y tecnologías utilizadas en el mundo real para reproducir los fenómenos sin producirse el fenómeno en sí.

La simulación es un método para acercar a situaciones y elementos similares a la realidad, pero en forma artificial, a fin de obtener conocimientos y habilidades prácticas operativas que se podrán utilizar en la realidad.

Los simuladores de redes de comunicaciones permiten observar el comportamiento que tienen bajo distintas configuraciones y situaciones que se presentan dentro del funcionamiento de las mismas, como por ejemplo NetSim, Jinsim, KivaNS, Network Simulator, OMNET ++, Packet Tracer, OPNET Modeler, RouterSim Network Simulators, Toggit y WebNMS Simulación Toolkit, CORE, IMUNES.

#### **4.2 Cálculo y simulación de radioenlaces**

El cálculo de los radioenlaces hace referencia a la utilización de enlaces de radio para la transmisión de ondas electromagnéticas con lo que se tiene el aire como medio de transporte no guiado, mediante la utilización de la herramienta informática Matlab para el desarrollo de un modelo energético de transmisión en el cual se ven los distintos parámetros a tomar en cuenta como lo son:

- Frecuencia de transmisión
- Distancia entre el transmisor Tx y el Receptor Rx
- Altura de las antenas
- Potencia de transmisión
- Pérdidas en la transmisión
- Zona de Fresnel
- Perfil de terreno

Para el cálculo de estimación del área de cobertura se utilizará el modelo energético de transmisión donde se toma en cuenta las distintas perdidas en la transmisión de datos

Los tipos de pérdidas en la transmisión a tomarse en cuenta son los siguientes.

- Desvanecimiento
- Pérdida en espacio libre
- Pérdidas por lluvia y vegetación
- Pérdidas por acople

Todas estas pérdidas han sido tomadas en base al modelo Longley-Rice, pues se toma en cuenta la irregularidad del terreno para poder realizar la simulación del enlace punto a punto en la ciudad de Pedernales.

En la Figura 4.1 se muestra la interface del programa Radio Mobile para el ingreso de datos del punto de acceso AP

Figura 4.1.- Interface Ingreso de datos Radio Mobile

Coordenadas

Latitud 00 ° 04 ' 06,6 " N

Longitud 080 ° 03 ' 11,2 " O

Latitud 0,068492

Longitud -80,05312

QRA EJ90XB

OK

Cancelar

Elaborado por: Patricio Caisaguano (2018)

Se ingresa las coordenadas en las cuales se ubica nuestro AP y una distancia de estimación de 5 Km y se toma un Angulo de barrido de 1° para proceder a obtener el área de cobertura mediante la utilización del modelo de propagación de Longley-Rice como se muestra en la Figura 4.2

Figura 4.2.- Interface Calculo Area de Cobertura Radio Mobile

Elaborado por: Patricio Caisaguano (2018)

En la Tabla 11 se muestran las coordenadas del punto de acceso AP y del cliente CPE1 y la distancia que existe entre los dos para la realización del radio enlace

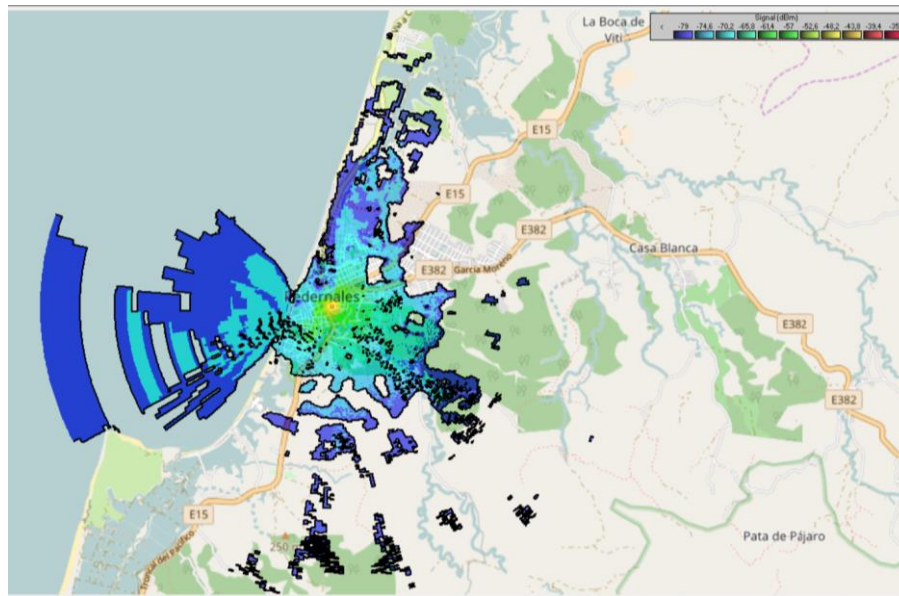
Tabla 4.1-. Coordenadas de radioenlace Prueba

	LATITUD	LONGITUD
ACCESS POINT AP	0° 04' 6,6" N	80° 03' 11,2" W
CPE1	0° 04' 15,8" N	80° 02' 50,9" W
DISTANCIA	0,68 km	

Elaborado por: Patricio Caisaguano (2018)

Utilizando el programa radio Mobile se puede visualizar el área de cobertura donde se puede brindar el servicio como se muestra en la Figura 4.3

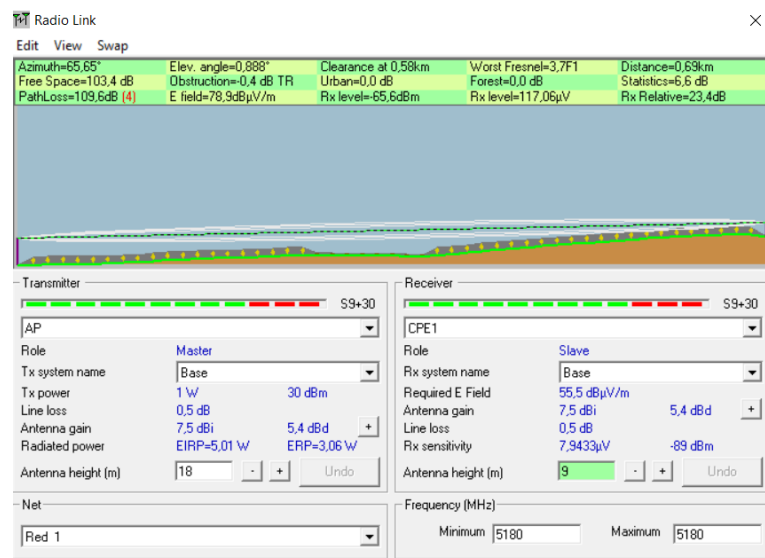
Figura 4.3-. Zona obertura AP Pedernales



Elaborado por: Patricio Caisaguano (2018) Radio Mobile

El radio enlace de prueba se muestra en la Figura 4.4 así como los distintos parámetros que se obtienen

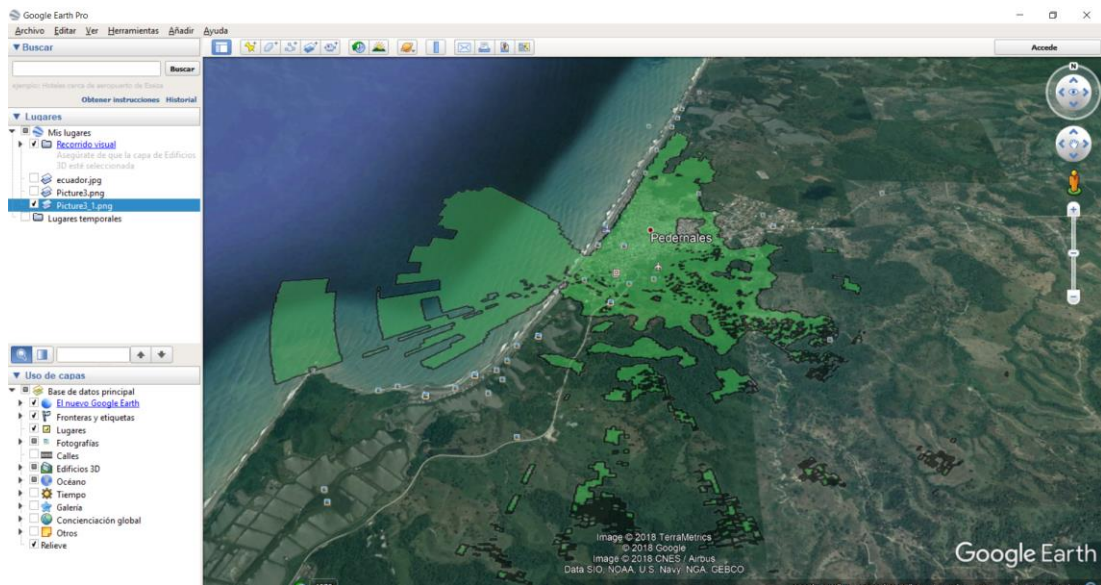
Figura 4.4-. Radio enlace AP-CPE1 Pedernales



Elaborado por: Patricio Caisaguano (2018)

Se muestra finalmente en la Figura 4.5 en Google Earth el área de cobertura obtenida.

Figura 4.5-. Zona obertura AP Pedernales



Elaborado por: Patricio Caisaguano (2018)

### 4.3 Emulación de red

Para la emulación de la red implementada en el WISP se ha utilizado los siguientes programas para obtener un resultado lo más cercano posible a situaciones con equipos reales

- GNS3
- QEMU
- VIRTUAL BOX

### 4.4 Configuraciones básicas

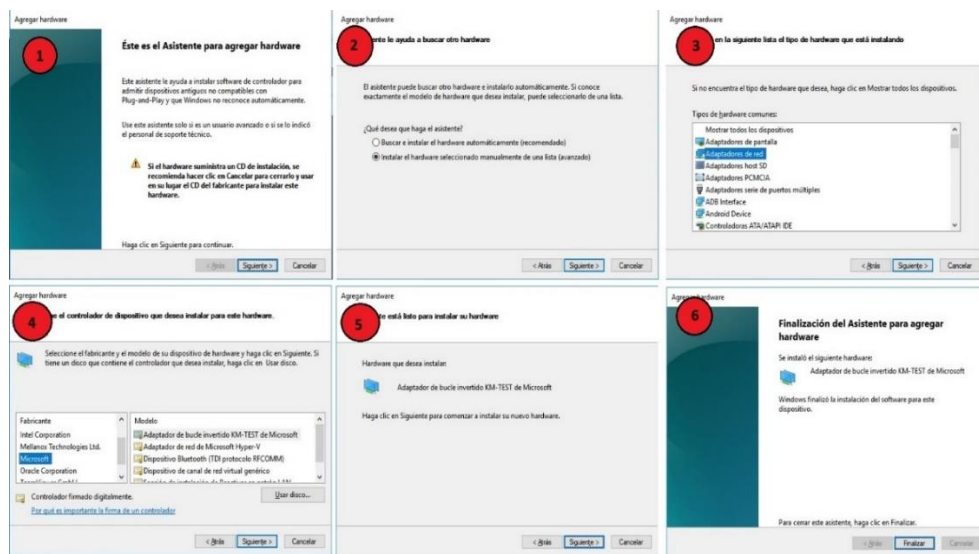
La instalación de una imagen MIKROTIK EN QEMU se la realiza de la siguiente manera

- obtener la imagen de Mikrotik .iso
- copiar la imagen en C:\Program Files\GNS3\qemu-2.4.0
- ejecutar cmd
- cambiar cd c:\Program Files\GNS3\qemu-2.4.0
- Luego ejecutar los siguientes comandos

- qemu-img.exe create -f qcow2 mikrotik.img 256m
- qemu-system-i386w.exe mikrotik.img -boot d -cdrom mikrotik.iso
- qemu-system-i386w.exe mikrotik.img -boot c

Para comunicarse con el programa WINBOX es necesario instalar la interface de Loopback para poder interactuar con los dispositivos como se muestra en la Figura 4.6

Figura 4.6-. Adición de interface Loopback (Windows)



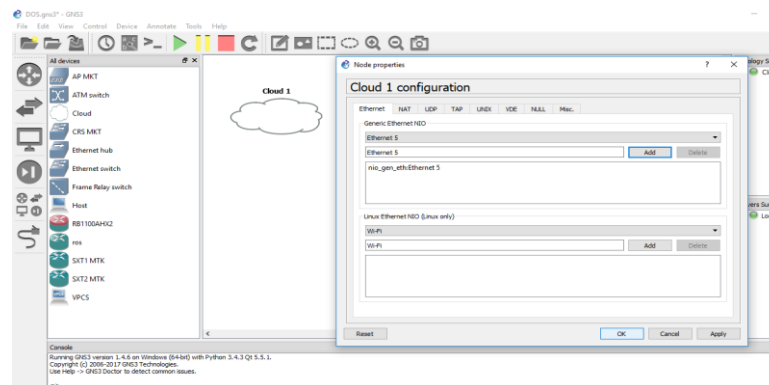
Elaborado por: Patricio Caisaguano (2018)

Para conectar entre el portátil y el dispositivo virtual de Mikrotik, debemos seguir los siguientes pasos:

- Configurar la nube que nos permite la salida a internet de nuestros dispositivos Mikrotik de la siguiente manera
- En GNS3 elegir el tipo de dispositivo de nube y arrastrar y soltar al área de trabajo
- Haga clic derecho dos veces en el dispositivo para configurarlo
- Elegir la interfaz de Loopback creada anteriormente
- Ubicar un Switch para realizar las conexiones pues este dispositivo permite la comunicación entre dispositivos Mikrotik

En la Figura 4.7 se muestra la forma de configuración de nuestra interface de Loopback en GNS3

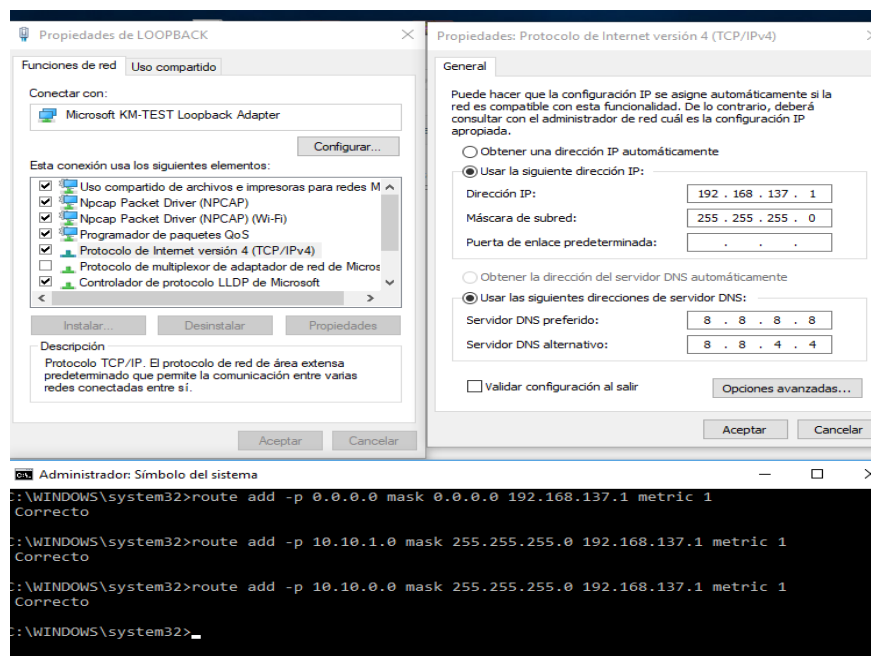
Figura 4.7-. Configuración Cloud GNS3



Elaborado por: Patricio Caisaguano (2018)

Mediante la realización de la configuración anterior se logra que nuestros dispositivos virtuales interactúen con nuestro equipo, para esto hay que asignar una dirección IP valida a nuestra interface de Loopback y añadir una ruta estática en nuestro equipo como se muestra en la Figura 4.8.

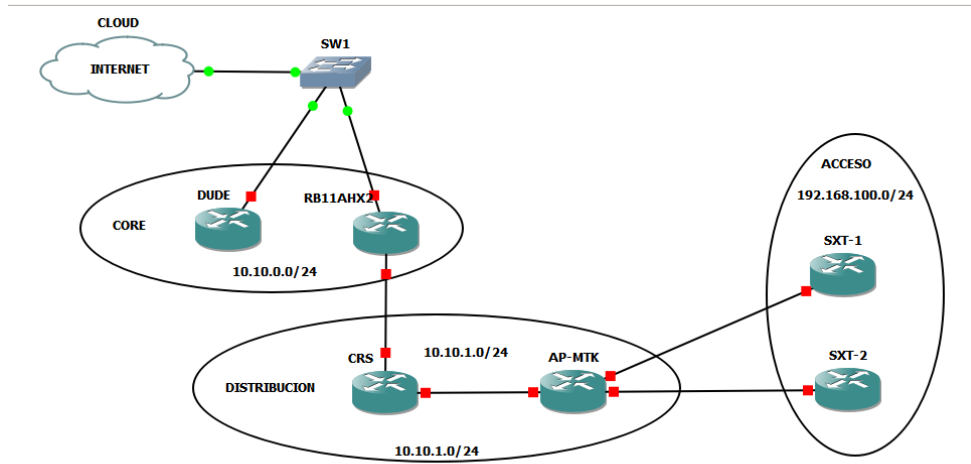
Figura 4.8.- Configuración de interface Loopback y establecimiento de ruta estática



Elaborado por: Patricio Caisaguano (2018)

Para la realización de esta simulación se debe tomar en cuenta un mapa de distribución de las redes y subredes conjuntamente con las interfaces a utilizar en cada segmento de red como se muestra en la topología mostrada en la Figura 4.9:

Figura 4.9.-Topología de red de WISP



Elaborado por: Patricio Caisaguano (2018)

La simulación se la realiza utilizando el emulador QEMU con máquinas virtuales con una versión del sistema operativo RUOTEROS para realizar la configuración de cada uno de los dispositivos como se muestra en la Figura 4.10

Figura 4.10-. Consolas de configuración de equipos de red

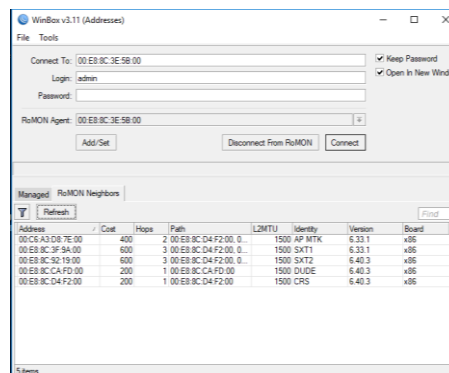


Elaborado por: Patricio Caisaguano (2018)



Con la utilización de la aplicación WINBOX se puede configurar cada uno de los equipos utilizando una interfaz gráfica con la utilización de la herramienta RoMON como se muestra en la Figura 4.11.

Figura 4.11-. Lista de dispositivos Mikrotik presentes en la red



Elaborado por: Patricio Caisaguano (2018)

En la Figura 4.12 se muestran los equipos presentes en la red a los cuales se puede ingresar para realizar todas las configuraciones para la prestación de los servicios ofertados por el WISP

#### 4.5 Configuración CORE ISP,

El núcleo o CORE del ISP es el encargado de conectar las redes utilizadas por el ISP con la Internet y poder brindar acceso a los clientes a los que se presta servicio

Dentro de la configuración de los equipos del núcleo debemos considerar:

- Pool direcciones ISP fijas otorgada por el Carrier
- Gateway del servicio
- Servidores DNS que se van a transmitir con el servicio de DHCP implementado

La configuración del Router de Core se muestra en la Figura 4.12

Figura 4.12-. Configuración de acceso Router de Core

Elaborado por: Patricio Caisaguano (2018)

Se debe contar con un enrutamiento estático para poder alcanzar las redes utilizadas las cuales son provistas por el servicio de DHCP implementado en el Router Core, como se muestra en la Figura 4.13:

Figura 4.13-. Tabla enrutamiento estático Router Core

	Dest. Address	Gateway	Distance	Routing Mark	Pref. Source
AS	0.0.0.0/0	192.168.137.1 reachable ether0	1		
DAC	10.10.0.0/24	bridge1 reachable	0		10.10.0.1
AS	10.10.1.0/24	10.10.0.254 reachable bridge1	1		
AS	192.168.100.0/24	10.10.0.254 reachable bridge1	1		
DAC	192.168.137.0/24	ether0 reachable	0		192.168.137.5

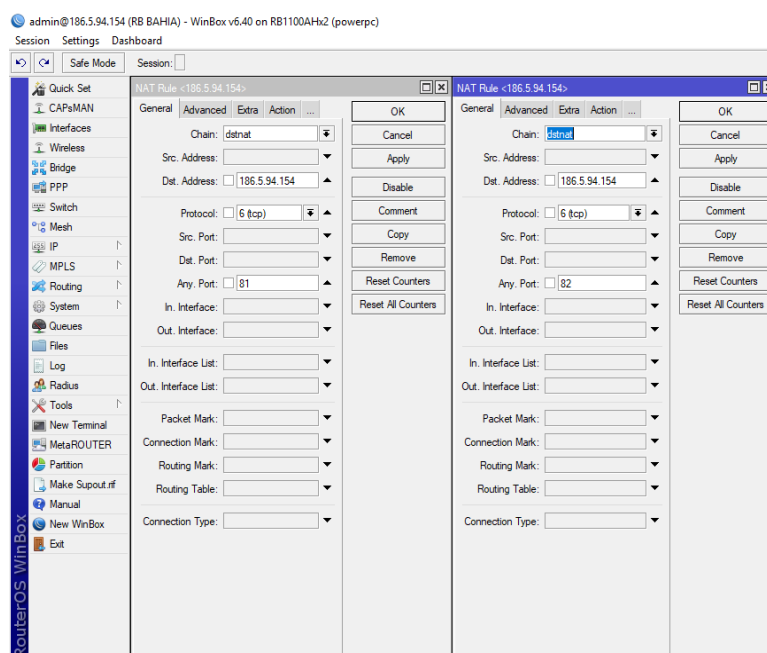
Elaborado por: Patricio Caisaguano (2018)

## 4.6 Redirección de puertos

La redirección de puertos es una utilidad que nos ayudan en el control de cada uno de los dispositivos terminales presentes en la red, mediante la asignación de un único puerto a cada uno de los dispositivos con una sola dirección IP que ha sido asignada

por el CARRIER utilizando la herramienta Winbox provista por el fabricante Mikrotik como se muestra en la Figura 4.14:

Figura 4.14-. Redireccionamiento de puertos Router Core



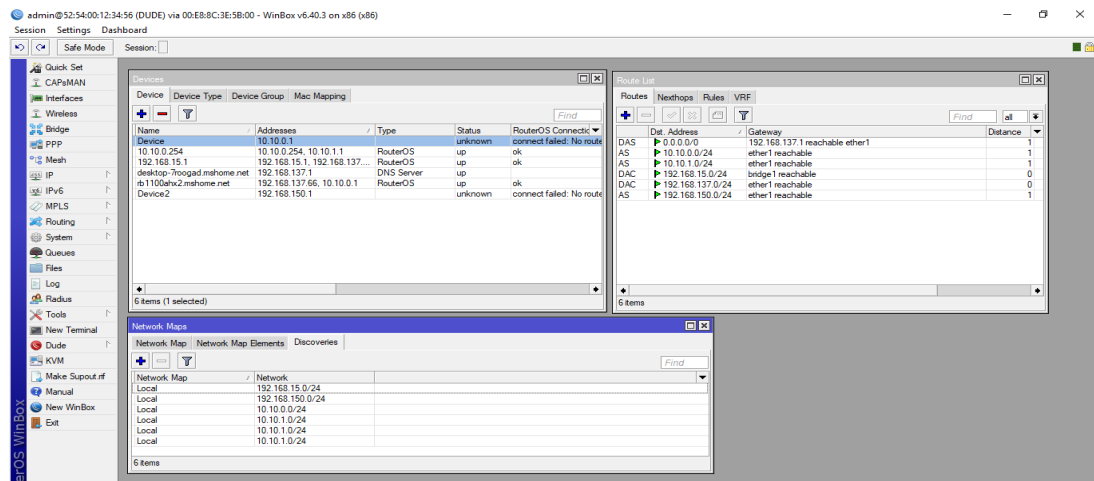
Elaborado por: Patricio Caisaguano (2018)

## 4.7 Monitoreo de red

El monitoreo de la red implementada se lo realiza mediante la utilidad DUDE implementarle en ciertos equipos Mikrotik por lo que para la simulación se ha implementado un servidor DUDE en una imagen CHR con licencia básica nivel 1

La configuración del servidor de monitoreo DUDE se muestra en la Figura 4.15

Figura 4.15.- Configuración Servidor DUDE



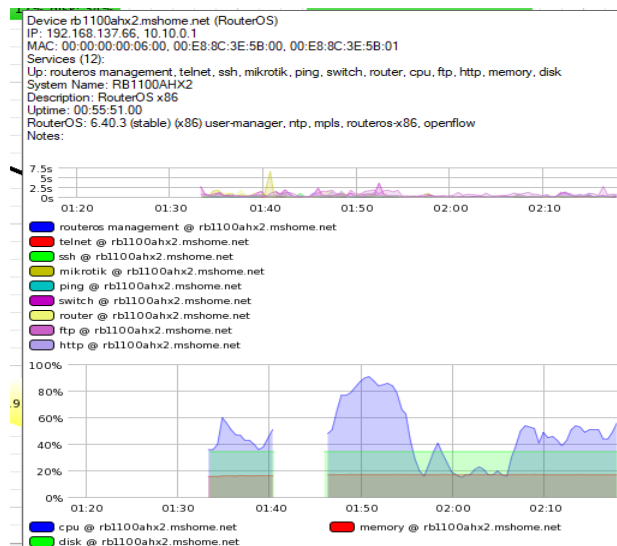
Elaborado por: Patricio Caisaguano (2018)

Mediante la utilización de esta herramienta se puede obtener un diagrama de nuestra red, así como muchos aspectos informativos como los siguientes:

- Dirección Ip
- Velocidad de transmisión
- Gráficas de rendimiento

Los datos de red obtenidos mediante el servidor DUDE se muestra en la Figura 4.16:

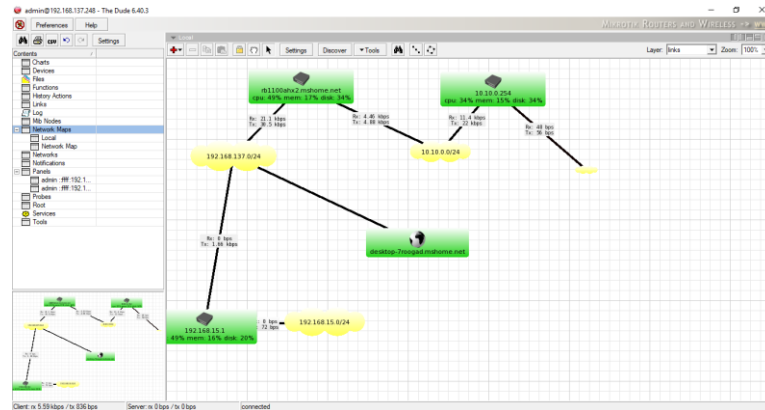
Figura 4.16.- Datos proporcionados por servidor DUDE



Elaborado por: Patricio Caisaguano (2018)

El mapa de red obtenido por DUDE se muestra en la Figura 4.17:

Figura 4.17 -. Mapa de red obtenido con DUDE



Elaborado por: Patricio Caisaguano (2018)

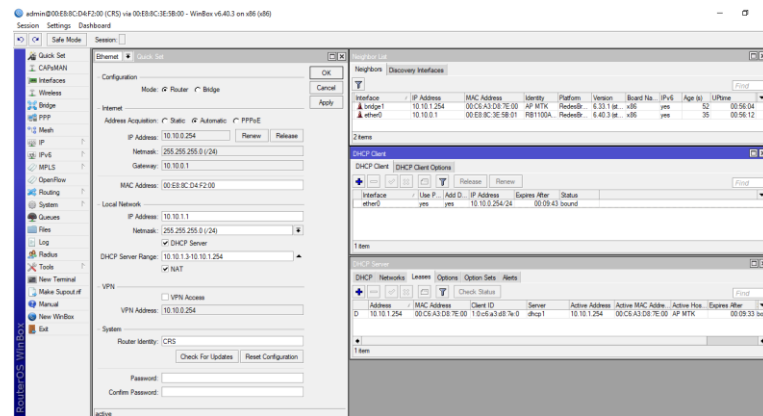
## 4.8 Configuración distribución ISP

Dentro del modelo la configuración de los equipos Será realizada tomando en cuenta que en este nivel se realizará conmutación de paquetes de capa 2 del modelo OSI, Es en este nivel donde se realiza el monitoreo de los recursos de red.

En este nivel se recibe la configuración DHCP otorgado por el equipo del nivel superior y a su vez este brinda el servicio de DHCP para el Access Point.

La configuración se la realiza manera similar a la configuración de los equipos del nivel de CORE como se muestra en la Figura 4.18:

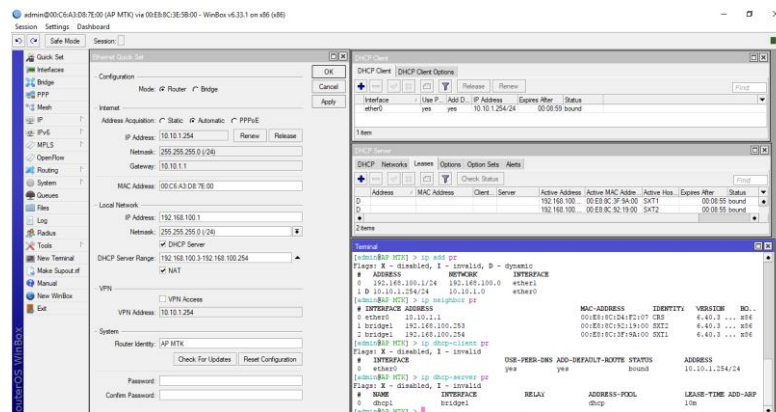
Figura 4.18-. Configuración de switch Distribución de WISP.



Elaborado por: Patricio Caisaguano (2018)

La configuración del AP se muestra en la Figura 4.19 donde se muestra que es cliente de DHCP provisto por el Switch de Distribución y también brinda el servicio de DHCP para el nivel de acceso

Figura 4.19-. Configuración de AP nivel Distribución en WISP



Elaborado por: Patricio Caisaguano (2018)

## 4.9 Configuración acceso WISP

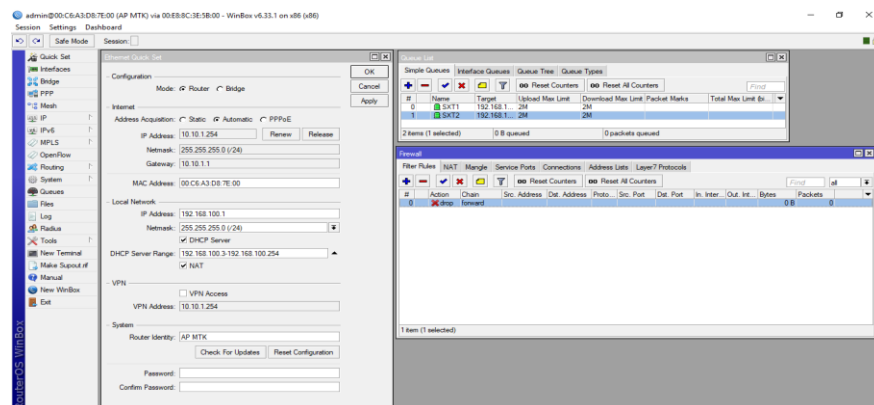
Los equipos utilizados en la simulación son de marca MIKROTIK y utilizan el sistema operativo RouterOS por lo que la configuración de los mismos es similar a la mostrada en la configuración de equipos en los dos niveles superiores

Las funciones que el AP cumple en el nivel de acceso son las siguientes:

- DHCP para cada cliente
- Control de ancho de banda
- Control de acceso a la red

La configuración del AP de acceso se muestra en la Figura 4.20

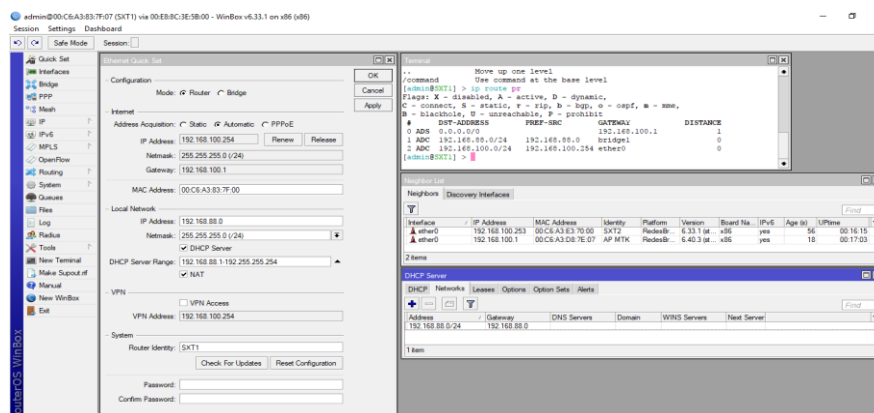
Figura 4.20-. Configuración AP de Acceso de WIPS, control de ancho de banda y control de acceso



Elaborado por: Patricio Caisaguano (2018)

La configuración de los equipos que brindan el acceso a la Internet al ser este del mismo fabricante y utilizar el mismo sistema operativo RouterOS se la realiza de manera similar a la de los equipos de los niveles anteriores como se muestra en la Figura 4.21.

Figura 4.21 -. Configuración CPE usuario final



Elaborado por: Patricio Caisaguano (2018)

En la simulación se utilizó solamente 2 CPE debido a limitaciones de memoria y recursos del PC utilizado para realizar la simulación

#### 4.10 Pruebas de conectividad

Las pruebas de conectividad se realizarán desde un terminal virtual implementado en QUEMU para realizar las siguientes pruebas:

- Conectividad total y acceso a internet
- Reglas de acceso
- Control de ancho de banda del usuario final

Para la realización de las pruebas de conectividad se muestran en la Tabla 4.2 las direcciones IP utilizadas.

Tabla 4.2-. Direcciones IP Pruebas

DESTINO	DIRECCION IP
INTERNET	8.8.8.8
GATEWAY ISP	192.168.137.1/24
IP ISP	DINAMICO
ROUTER CORE	10.10.0.1 /24
SWITCH DISTRIBUCION	10.10.1.1/24
AP ACCESO	192.168.150.1/24
CPE CLIENTE	192.168.88.1/24

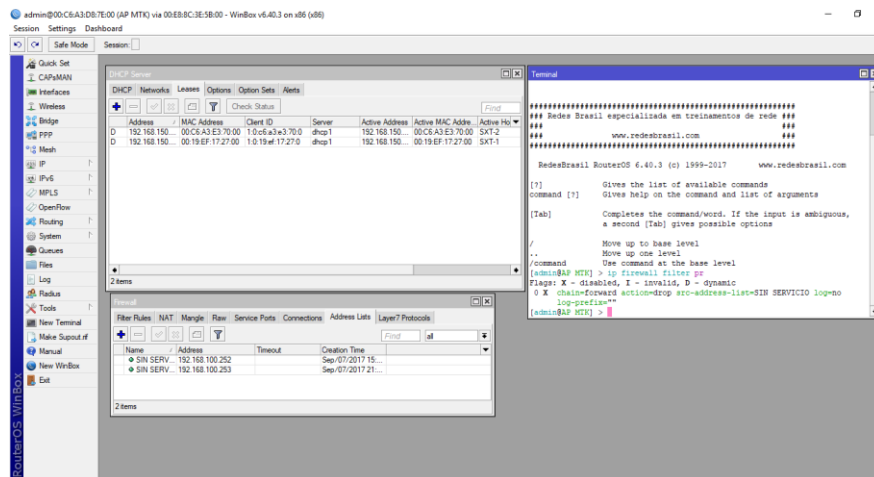
Elaborado por: Patricio Caisaguano (2018)

#### 4.11 Pruebas reglas de acceso

Las políticas de acceso se implementan mediante una regla de firewall en el AP de acceso con lo que se reduce la cantidad de procesamiento que realizan los equipos tanto en los niveles superiores, la configuración de las reglas y la lista de los clientes en los que se va a aplicar esta regla se muestra en la Figura 4.22.



Figura 4.22 -. Configuración reglas de Acceso

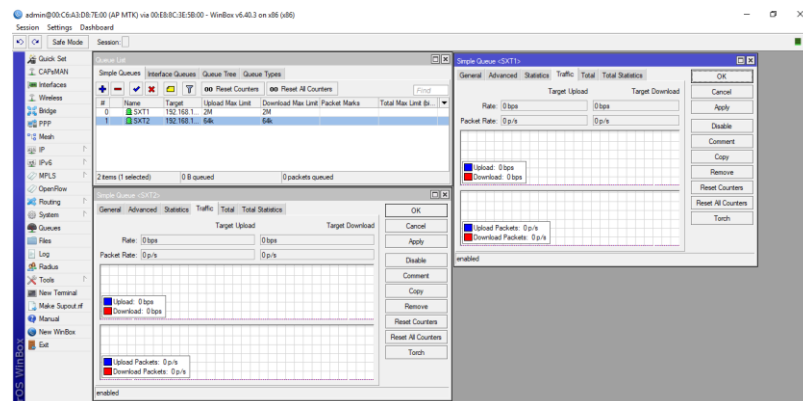


Elaborado por: Patricio Caisaguano (2018)

## 4.12 Prueba control ancho de banda

El control de ancho de banda esta implementado para limitar el ancho de banda asignado a cada cliente como se muestra en la Figura 4.23.

Figura 4.23.- Control de ancho de banda en AP



Elaborado por: Patricio Caisaguano (2018)

## 4.13 Análisis de simulación

La simulación realizada se la realizo utilizando 2,4 GHz tanto como la banda de los 5GHz, con lo que se observa que la transmisión en una frecuencia menor nos da un mejor rendimiento en el alcance o la distancia a la que se puede realizar un enlace en comparación con los enlaces realizados con una frecuencia de 5GHz.

Los resultados de muestran en la Tabla 4.3.

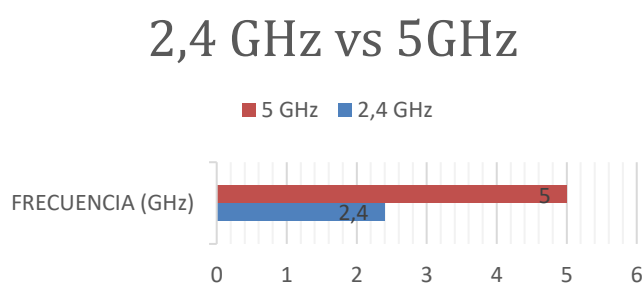
Tabla 4.3.- Comparación frecuencias Wi-Fi

FRECUENCIA (GHz)	PERDIDA AIRE LIBRE (dB)	ANCHO DE CANAL (MHz)
2,4	96,01	20
5	111,48	40

Elaborado por: Patricio Caisaguano (2018)

La utilización de la frecuencia de 2,4GHz nos brinda una menor pérdida en la transmisión al aire libre como se indica en la Figura 4.24.

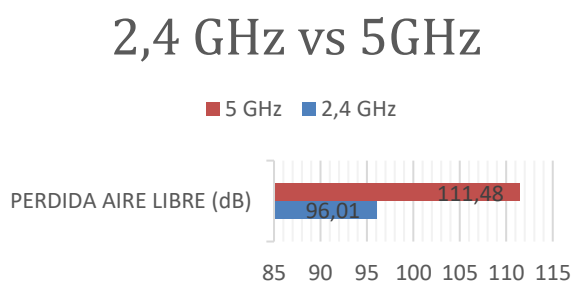
Figura 4.24.- Comparación entre 2,4GHz y 5GHz Frecuencia



Elaborado por: Patricio Caisaguano (2018)

En la Figura 4.25 se muestra la perdida en la transmisión en el espacio libre.

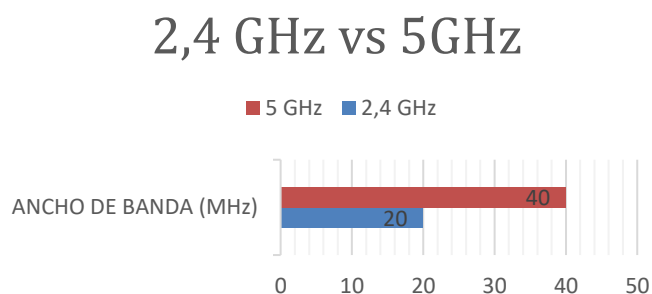
Figura 4.25.- Comparación entre 2,4GHz y 5GHz. Perdida en espacio libre



Elaborado por: Patricio Caisaguano (2018)

En la Figura 4.26 se muestra la comparación del ancho de canal que se utilizan en las dos frecuencias.

Figura 4.26.- Comparación entre 2,4GHz y 5GHz. Ancho de Canal



Elaborado por: Patricio Caisaguano (2018)

Los resultados de la simulación de conectividad dentro de nuestra red se muestran en las Tablas 4.4 y 4.5:

Tabla 4.4.- Pruebas de conectividad PC1

ORIGEN	DESTINO	OBSERVACION
PC1	INTERNET	OK
PC1	GATEWAY ISP	OK
PC1	IP ISP	OK
PC1	ROUTER CORE	OK
PC1	SWITCH DISTRIBUCION	OK
PC1	AP ACCESO	OK
PC1	CPE CLIENTE	OK

Elaborado por: Patricio Caisaguano (2018)

Tabla 4.5.- Pruebas de conectividad PC2

ORIGEN	DESTINO	OBSERVACION
PC2	INTERNET	OK
PC2	GATEWAY ISP	OK

PC2	IP ISP	OK
PC2	ROUTER CORE	OK
PC2	SWITCH DISTRIBUCION	OK
PC2	AP ACCESO	OK
PC2	CPE CLIENTE	OK

Elaborado por: Patricio Caisaguano (2018)

#### 4.14 Análisis de Rendimiento

El análisis del rendimiento de los distintos tipos de modulaciones y del rendimiento de los mismos se muestran en la Tabla 4.6.

Tabla 4.6.- Pruebas de conectividad PC1

<b>Frecuencia</b>	<b>No Canales</b>	<b>Alcance</b>	<b>Ancho de Canal</b>
2,4 GHz	MENOR	MAYOR	MENOR
5 GHz	MAYOR	MENOR	MAYOR

Elaborado por: Patricio Caisaguano (2018)

La desventaja de realizar simulaciones con GNS3 es el alto consumo de recursos en la maquina en la que se realiza la simulación.

El servidor de monitoreo de red se lo puede implementar en equipos CHR o CCR que tienen un costo más elevado, la versión que puede implementarse en x86 es gratuita, pero necesita una licencia para tener funcionales todas sus opciones pues caso contrario tiene limitado el número de dispositivos con los que se puede interconectar y carece de protocolos de enrutamiento como OSPF.

La utilización del protocolo NV2 propiedad de Mikrotik nos permite mejorar el área de cobertura que se puede brindar y reducir el tiempo de respuesta entre el transmisor TX y el receptor RX.

#### 4.15 Selección del fabricante

Al analizar las características que presentan cada uno de los equipos de la marca utilizada para realizar la simulación nos permiten seleccionar al fabricante Mikrotik para una futura implementación de un WISP pues tiene la ventaja de una administración y montaje sencillos, ofreciendo las mismas prestaciones de otras marcas a un costo menor.

#### 4.16 Análisis de costos

En el análisis de los costos se toma en cuenta el valor de los equipos, costo de la solución, cableado, configuración, licenciamiento y capacitación del personal responsable de realizar la instalación y la administración de la red.

#### 4.17 Elementos de interconexión

Son los materiales necesarios para generar los puntos de acceso para los dispositivos inalámbricos desde el rack a su ubicación designada. En la Tabla 4.7 se muestran los elementos necesarios para la implementación de la red del WISP.

Tabla 4.7.- Costo referencial de elementos de interconexión

Descripción	Cantidad	Precio	Valor
Cable SIEMON UTP cat 6 bobina 305m	2	340,00	680,00
Jack RJ-45 cat 6	20	4	80
Patch Cord 3pies 6	36	10	360,00
Total			1120,00

Elaborado por: Patricio Caisaguano (2018)

#### 4.18 Equipamiento

El Core de ISP estará formado por los siguientes equipos de los cuales detallamos los precios referenciales en la Tabla 4.8

Tabla 4.8.- Precio referencial de equipamiento de Core

Descripción	Cantidad		Total
Mikrotik Router Cloud Core CCR1036-12G-4S+	1	1346,9	1346,90
Mikrotik Switch CRS226-24G-2S-RM, Ram	1	369,01	369,10
Rack de Sala Cerrado, 37UR 600X960X1833	1	960	960,00
		Subtotal	2676
		I.V.A.	321,12
		Total	2997,12

Elaborado por: Patricio Caisaguano (2018)

#### 4.19 Equipamiento clientes

El equipamiento para el usuario final será de la marca Mikrotik como se muestra en la Tabla 4.9.

Tabla 4.9.- Precio referencial equipamiento Cliente

Descripción		Costo	Total
OmniTik U-5HnD 1000MW / 600MHZ /	1	120	120
Mikrotik Sxt Lite 5 600mW	10	76.00	760
		Subtotal	880
		IVA	105,6
		Total	986

Elaborado por: Patricio Caisaguano (2018)

El proyecto tiene como objetivo implementar en corto plazo el WISP para poner a disposición de la ciudad de Pedernales el servicio de acceso a La Internet.

## CONCLUSIONES

El proyecto de diseño y simulación de una red de Wireless Internet Service Provider WISP para la empresa SOCEDAD CIVIL M&S TELEVISION Y SRVICIOS hacen notar la necesidad de contar con una red para ofrecer servicios de valor agregado como lo es el acceso a Internet en la ciudad de Pedernales, pues su infraestructura de red se ha visto reducida desde el año 2016 por causas de fenómenos naturales.

La implementación del proyecto en corto plazo asegura el acceso a redes de información y transmisión de datos de última tecnología, brindando así a la población de la ciudad de Pedernales el acceso a estas redes y a la Internet.

El diseño y la simulación de una red de acceso permitió que se obtenga información documentada correspondiente a la configuración de cada equipo a emplearse en una implementación en corto plazo.

La simulación del área de cobertura ayudará a que en la etapa de implementación se tome en cuenta los sectores en los que no se podrá ofrecer el servicio de acceso a Internet de forma inalámbrica, dando así cumplimiento a lo requerido por la Agencia de Regulación y control de las Telecomunicaciones Arcotel.

La selección de la tecnología inalámbrica hace que los costos de infraestructura y el tiempo de implementación se reduzcan, debido a que no es necesario extender un medio guiado de transmisión, beneficiando así a los pobladores de la ciudad de Pedernales.

La simulación ha sido realizada tomando en consideración los aspectos técnicos ofrecidos por la marca Mikrotik, permitirá la implementación de varias características que se traducen en ventajas para la administración de la red y en el control de recursos.

La utilización de GNS3 como plataforma para emular el comportamiento de la red tiene la ventaja de proveer al administrador de red las herramientas necesarias para el manejo de los distintos equipos a utilizarse en la implementación del WISP.

La ventaja de virtualizar los equipos para la simulación permite que se tome la decisión de utilizar la marca con la que se realizaron las pruebas en la plataforma virtual como lo es GNS3 y poder optimizar el uso de los recursos de la red.

La metodología utilizada en la elaboración de este proyecto permitió preparar los recursos que serán necesarios para la implementación del WISP, en la etapa de implementación se toman en cuenta todas las experiencias obtenidas mediante el diseño y simulación de la infraestructura de red inalámbrica.

Se diseñó un plan estratégico para el control y monitoreo de la red y sus recursos, generando así informes del funcionamiento y el rendimiento de la red obteniendo así una medida de valor en lo que corresponde a los posibles riesgos a los que la red puede estar expuesta.

Se obtiene mejor rendimiento de la red simulando condiciones extremas de tráfico, obteniendo información confiable, procesada y con estadísticas de lo ocurrido en la red. Evaluando la operación de los servicios, los servidores, los equipos de red y la red en general para detectar errores en configuraciones de los agentes de recolección, fallas o malas configuraciones y corregir los problemas encontrados



## **RECOMENDACIONES**

Para la implementación del Nivel Core del WISP se recomienda utilizar trancivers de fibra óptica a cable UTP Cat 6 pudiendo alcanzar la velocidad de 1Gbps.

Para la expansión de la cobertura de red se recomienda utilizar enlaces de fibra óptica para montar nuevos nodos o puntos de acceso AP con lo que el rendimiento de la red no será afectado.

Para la implementación de la red inalámbrica se recomienda utilizar equipamiento que trabaje en la frecuencia de 5GHz pues presenta mayor inmunidad a la interferencia electromagnética, y poder aumentar el ancho del canal obteniendo así un mejor rendimiento de los recursos de red.

El protocolo inalámbrico a utilizarse será NV2 propietario del fabricante Mikrotik, teniendo así un esquema de acceso TDMA, con lo que se obtiene un mayor rendimiento en el área de cobertura y el tiempo de respuesta en el acceso a Internet.

Realizar un site survey para poder optimizar el nivel de señal y garantizar el acceso a Internet con niveles que permitan el acceso a la red sin ningún tipo de dificultades.

Implementar políticas de seguridad tanto físicas como lógicas evitando así los ataques y la intrusión en la red.

Deshabilitar puertos que pueden ser vulnerables como FTP, Telnet, evitando así que los dispositivos de nuestra red sean atacados o pierdan el control de la misma.

Montar una torre para elevar la antena de transmisión AP evitando así la pérdida de línea de vista con los clientes a los que se presta el servicio, reduciendo así la pérdida de la intensidad de señal por obstáculos que estén dentro de la zona de Fresnel.

Se recomienda la utilización de antenas directivas para sectorizar la cobertura de la red inalámbrica reduciendo así el mal gasto de potencia de transmisión.

Incluir en el nivel de Core un servidor de Catching y de monitorización de red para reducir la carga de tráfico en los dispositivos como el Router Core y el Switch de Distribución.

Centralizar la administración para poder realizar mantenimiento y verificación de la calidad de los enlaces pudiendo configurar remotamente los equipos terminales.

## REFERENCIAS

- (IOSR-JCE), I. J. (septiembre de 2015). *A Comparison between IEEE 802.11a, b, g, n and ac Standards*. Obtenido de <http://www.iosrjournals.org/iosr-jce/papers/Vol17-issue5/Version-3/D017532629.pdf>
- Acevedo, H. (08 de 11 de 2011). *Magazcitum*. Obtenido de <http://www.magazcitum.com.mx/?p=1574#.VvrTq-LhDIU>
- Álvarez, I. (2013). *Pérdidas de inserción en diferentes tipos de materiales y árboles*. Madrid.
- ARCOTEL. (2009). *RESOLUCION 216-09-CONATEL-2009-ADM*. Obtenido de ARCOTEL: <http://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/11/216-09-CONATEL-2009-ADM.pdf>
- Aruba. (18 de 02 de 2015). *802.11ac In-Depth*. Obtenido de <http://community.arubanetworks.com/t5/Technology-Blog/Aruba-802-11ac-In-Depth-White-Paper/ba-p/227552>
- Baquero, O. (2014). *Diseño y Construcción de una red WIFI 802.11 para la empresa*. Quito.
- Burgess, D. (2012). *Learn RouterOS – Second Edition*. texas: mikrotik.
- Butler, J., Pietrosevoli, E., Zennaro, M., Fonda, C., Okay, S., Aichele, C., & Büttrich, S. (2013). *Redes Inalámbricas en los Países en Desarrollo*. Copenhagen.
- Castaño, R., & López, J. (2013). *Redes Locales*. Madrid : Macmillan Iberia, S.A.
- CCM. (s.f.). *CCM*. Obtenido de <http://es.ccm.net/contents/286-vlan-redes-virtuales>
- CCM. (s.f.). *CCM*. Obtenido de <http://es.ccm.net/contents/593-proteccion-introduccion-a-la-seguridad-de-redes>
- Chin, D. (2014). *Best Practices for High Density Wireless Network Design In Education*. Obtenido de Netgear: [http://www.netgear.com/images/pdf/High\\_Density\\_Best\\_Practices.pdf](http://www.netgear.com/images/pdf/High_Density_Best_Practices.pdf)

- Cisco. (2003). *Suplemento sobre cableado estructurado*.
- Cisco. (2012). *Cisco IBSG Horizons*. Obtenido de [http://www.cisco.com/c/dam/en\\_us/about/ac79/docs/BYOD.pdf](http://www.cisco.com/c/dam/en_us/about/ac79/docs/BYOD.pdf)
- Cisco. (28 de 11 de 2014). *Blog Cisco Cansac*. Obtenido de <http://gblogs.cisco.com/cansac/experiencia-inalambrica-de-alta-densidad-parte-2>
- Cisco. (11 de 11 de 2014). *Blog Cisco Cansac* . Obtenido de [gblogs.cisco.com/cansac/experiencia-inalambrica-de-alta-densidad-parte-1](http://gblogs.cisco.com/cansac/experiencia-inalambrica-de-alta-densidad-parte-1)
- Cisco. (2014). *Campus Resumen de Diseño*.
- Coleman, D., Westcott, D., Harkins, B., & Jackman, S. (2010). *Certified Wireless Security Professional Official*. Indianapolis: Wiley Publishing, Inc.
- Dordoigne, J. (2015). *Redes Informáticas Nocions fundamentales 5ta Edición*. Barcelona: Ediciones ENI.
- Ferrero, F., & de la Cuesta, G. (2007). *Libro blanco de buenas prácticas para el despliegue de redes inalámbricas de banda ancha en municipios de Andalucía*. Sevilla.
- Forouzan, B. A. (2007). *Transmisión de datos y redes de comunicaciones 4Ed*. Madrid: McGraw-Hil.
- González, M. (28 de 08 de 2014). *Redes Telemáticas*. Obtenido de <http://redestelematicas.com/velocidad-de-las-redes-wifi-n-en-entornos-residenciales/>
- Harkirat, S. (11 de 07 de 2015). *harkiratparas*. Obtenido de <http://www.harkiratparas.com/wifi-wireless-fidelity-advantages-of-wireless-networking/>
- Hernando, R. J. (2015). *Transmision por Radio Sexta Edicion*. Madrid: Editorial Centro de Estudios Ramón Areces, S.A.
- Hucaby, D. (2014). *CCNA Wireless 640-722*. Indianapolis: Cisco Press.
- IEEE. (08 de 01 de 2013). *IEEE Standars association*. Obtenido de <http://standards.ieee.org/news/2013/802.11ad.html>

- Institute for Telecommunication . (2014). *Irregular Terrain Model (ITM) (Longley-Rice) (20 MHz – 20 GHz)*. Obtenido de [https://www.its.bldrdoc.gov/media/50676/itm\\_alg.pdf](https://www.its.bldrdoc.gov/media/50676/itm_alg.pdf)
- Institute for Telecommunication Sciences. (2016). *Institute for Telecommunication Sciences*. Obtenido de <https://www.its.bldrdoc.gov/media/66385/propmeasworkshop3july282016.pdf>
- ITU. (06 de 2017). *RECOMENDACION ITU 1411-9*. Obtenido de [https://www.itu.int/dms\\_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.1411-8-201507-S!!PDF-E.pdf](https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.1411-8-201507-S!!PDF-E.pdf): [https://www.itu.int/dms\\_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.1411-8-201507-I!!PDF-S.pdf](https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.1411-8-201507-I!!PDF-S.pdf)
- Jackman, S., Swartz, M. B., & Head, T. (2014). *CWDP Certified Wireless Design Professional* . Indianapolis: Wiley Publishing, INC.
- James F. Kurose, K. W. ( 2013). *Computer Networking: A Top-Down Approach, 6Ed*. N.Y.: PEARSON.
- López, A. (05 de 02 de 2015). *Incibe*. Obtenido de [https://www.incibe.es/blogs/post/Seguridad/BlogSeguridad/Articulo\\_y\\_comentarios/Protocolos\\_aaa\\_radius](https://www.incibe.es/blogs/post/Seguridad/BlogSeguridad/Articulo_y_comentarios/Protocolos_aaa_radius)
- Martínez, T. (18 de 11 de 2013). *Telequismo*. Obtenido de <http://www.telequismo.com/2013/11/disenio-wifi.html>
- Microsoft. (20 de 4 de 2017). *Introduction to Wireless LAN Networks*. Obtenido de <https://docs.microsoft.com/en-us/windows-hardware/drivers/network/introduction-to-wireless-lan-networks>
- Orben. (14 de 03 de 2016). *Orben*. Obtenido de <http://www.orben.com/blog/2016/03/14/5-medidas-de-iso-27001-que-puedes-implementar-en-tu-empresa/>
- Poole, I. (s.f.). *Radio-electronics*. Obtenido de <http://www.radio-electronics.com/info/wireless/wi-fi/ieee-802-11a.php>
- Prodanovic, R., & Simic, D. (2007). A Survey of Wireless Security. *Journal of Computing and Information Technology*, 255. doi:10.2498/cit.1000877

Sánchez, J. (2014). *ESTUDIO Y DISEÑO PARA LA IMPLEMENTACION DE UN SWITCH DE CORE CISCO EN ALTA DISPONIBILIDAD, UTILIZANDO UN ESQUEMA DE VIRTUALIZACIÓN PARA EL PROVEEDOR DE SERVICIOS DE TELECOMUNICACIONES CLARO CONECCEL ECUADOR*. Guayaquil.

SAT. (10 de 09 de 2014). *CTIC*. Obtenido de <https://www.fundacionctic.org/sat/articulo-medidas-de-seguridad-basicas-iii-seguridad-en-redes-wifi>

Stallings, W. (2004). *Comunicaciones y Redes de computadores*. Madrid: PEARSON EDUCACIÓN, S. A.

Thornycroft, P. (2013). *Gigabit Wi-Fi, 802.11ac in depth*. Aruba networks.

UIT. (2001). *RECOMENDACIÓN UIT-R P.1238-2*. Obtenido de [https://www.itu.int:https://www.itu.int/dms\\_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.1238-2-200102-S!!PDF-S.pdf](https://www.itu.int:https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.1238-2-200102-S!!PDF-S.pdf)

Valdivia, C. (2015). *Redes Telemáticas*. Ediciones Paraninfo. S.A.

Wi-Fi Alliance. (2012). *The state of Wi-Fi Security*.

## ANEXOS

### ANEXO 1.- Tabla MCS 802.11n y 802.11ac con mayor difusión.

MCS Index - 802.11n and 802.11ac

MCS Index - 802.11n and 802.11ac											802.11n	802.11ac
HT	VHT				20MHz		40MHz		80MHz		160MHz	
MCS	MCS	Spatial			Data Rate	Data Rate	Data Rate	Data Rate	Data Rate	Data Rate	Data Rate	Data Rate
Index	Index	Streams	Modulation	Coding	No SGI	SGI	No SGI	SGI	No SGI	SGI	No SGI	SGI
0	0	1	BPSK	1/2	6.5	7.2	13.5	15	29.3	32.5	58.5	65
1	1	1	QPSK	1/2	13	14.4	27	30	58.5	65	117	130
2	2	1	QPSK	3/4	19.5	21.7	40.5	45	87.8	97.5	175.5	195
3	3	1	16-QAM	1/2	26	28.9	54	60	117	130	234	260
4	4	1	16-QAM	3/4	39	43.3	81	90	175.5	195	351	390
5	5	1	64-QAM	2/3	52	57.8	108	120	234	260	468	520
6	6	1	64-QAM	3/4	58.5	65	121.5	135	263.3	292.5	526.5	585
7	7	1	64-QAM	5/6	65	72.2	135	150	292.5	325	585	650
	8	1	256-QAM	3/4	78	86.7	162	180	351	390	702	780
	9	1	256-QAM	5/6	n/a	n/a	180	200	390	433.3	780	866.7
8	0	2	BPSK	1/2	13	14.4	27	30	58.5	65	117	130
9	1	2	QPSK	1/2	26	28.9	54	60	117	130	234	260
10	2	2	QPSK	3/4	39	43.3	81	90	175.5	195	351	390
11	3	2	16-QAM	1/2	52	57.8	108	120	234	260	468	520
12	4	2	16-QAM	3/4	78	86.7	162	180	351	390	702	780
13	5	2	64-QAM	2/3	104	115.6	216	240	468	520	936	1040
14	6	2	64-QAM	3/4	117	130.3	243	270	526.5	585	1053	1170
15	7	2	64-QAM	5/6	130	144.4	270	300	585	650	1170	1300
	8	2	256-QAM	3/4	156	173.3	324	360	702	780	1404	1560
	9	2	256-QAM	5/6	n/a	n/a	360	400	780	866.7	1560	1733.3
16	0	3	BPSK	1/2	19.5	21.7	40.5	45	87.8	97.5	175.5	195
17	1	3	QPSK	1/2	39	43.3	81	90	175.5	195	351	390
18	2	3	QPSK	3/4	58.5	65	121.5	135	263.3	292.5	526.5	585
19	3	3	16-QAM	1/2	78	86.7	162	180	351	390	702	780
20	4	3	16-QAM	3/4	117	130	243	270	526.5	585	1053	1170
21	5	3	64-QAM	2/3	156	173.3	324	360	702	780	1404	1560
22	6	3	64-QAM	3/4	175.5	195	364.5	405	n/a	n/a	1579.5	1755
23	7	3	64-QAM	5/6	195	216.7	405	450	877.5	975	1755	1950
	8	3	256-QAM	3/4	234	260	486	540	1053	1170	2106	2340
	9	3	256-QAM	5/6	260	288.9	540	600	1170	1300	n/a	n/a

# RouterBOARD 1100Hx2 and 1100AHx2

## Quick Setup Guide and Warranty Information



The RB1100 is a rackmount router with 13 Gigabit Ethernet ports. Two of the ports provide bypass functionality. There are two models, a dual core 1066MHz PPC processor and 1GB of RAM (RB1100Hx2), or with a dual core 1066MHz PPC processor with hardware encryption and 2GB of RAM (RB1100AHx2).

### First use

The RB1100 device comes preinstalled with RouterOS and is ready to use. RB1100 is compatible with RouterOS v5 and newer, if your device comes preinstalled with an earlier version, please upgrade before using it:

[http://wiki.mikrotik.com/wiki/Manual:Upgrading\\_RouterOS](http://wiki.mikrotik.com/wiki/Manual:Upgrading_RouterOS)

- Optionally, you may open the case and install a microSD card into the provided slot, for additional storage
- Connect ethernet cables
- Plug in the IEC C13 power cable into the back of the device to power it on.

### Powering

The board accepts powering from the power connector on the back of the case, or 24V PoE on Ethernet port 13. The device supports 110-220V at the built in PSU, and 12-24V when powering directly to the board and not using the provided case/PSU.

### Booting process

First, RouterBOOT loader is started. It displays some useful information on the onboard RS232C asynchronous serial port. The serial port is set by default to 115200bit/s, 8 data bits, 1 stop bit, no parity.

The **RouterOS** system will then load. It will be also indicated by two beeps.

**Note** that the device does not fully implement the hardware (RTS/CTS) flow control, so it is suggested to try to disable hardware flow control in the terminal emulation program in case the serial console does not work as expected, and if it does not help, make a new cable using the pin out given in the User's manual.

The loader may be configured to boot the system from the onboard NAND, and/or from network. See the respective section of User's manual on how to configure booting sequence and other BIOS parameters. DHCP or BOOTP (configurable in loader) protocols allow the RouterBOARD to get an initial IP address, and provide the address of a TFTP server to download an ELF boot image from. It is especially useful for software installation.

More information on connecting to the device: [http://wiki.mikrotik.com/wiki/Manual:First\\_time\\_startup](http://wiki.mikrotik.com/wiki/Manual:First_time_startup)



## Extension Slots and Ports

- 13 Gigabit Ethernet ports, supporting automatic cross/straight cable correction (Auto MDI/X), so you can use either straight or cross-over cables for connecting to other network devices.
- DB9 RS232C asynchronous serial port.
- SODIMM memory slot, populated with 1/2GB DDR2 667MHz SODIMM memory (Only 1.5GB recognized due to RouterOS limitation).
- A built in microSD slot is available on the board when opening the case.

## Operating System Support

Currently tested operating system is MikroTik RouterOS (starting from version v5).

## Copyright and Warranty Information

**Copyright and Trademarks.** Copyright MikroTik SIA. This manual contains information protected by copyright law. No part of it may be reproduced or transmitted in any form without prior written permission from the copyright holder. RouterBOARD, RouterOS, RouterBOOT and MikroTik are trademarks of MikroTik SIA. All trademarks and registered trademarks appearing in this manual are the property of their respective holders.

**Hardware.** MikroTik warrants all RouterBOARD series equipment for the term of one year from the shipping date to be free of defects in materials and workmanship under normal use and service, except in case of damage caused by mechanical, electrical or other accidental or intended damages caused by improper use or due to wind, rain, fire or other acts of nature.

To return failed units to MikroTik, you must perform the following RMA (Return Merchandise Authorization) procedure. Follow the instructions below to save time, efforts, avoid costs, and improve the speed of the RMA process.

1. If you have purchased your product from a MikroTik Reseller, please contact the Reseller company regarding all warranty and repair issues, the following instructions apply ONLY if you purchased your equipment directly from MikroTik in Latvia.
2. We do not offer repairs for products that are not covered by warranty. Exceptions can be made for RB1000 and RB1100.
3. Out-of-warranty devices and devices not covered by warranty sent to MikroTik will be returned to the sender at sender's cost.

RMA Instructions are located on our webpage here: <http://rma.mikrotik.com>

**Manual.** This manual is provided "as is" without a warranty of any kind, expressed or implied, including, but not limited to, the implied warranty of merchantability and fitness for a particular purpose. The manufacturer has made every effort to ensure the accuracy of the contents of this manual, however, it is possible that it may contain technical inaccuracies, typographical or other errors. No liability is assumed for any inaccuracy found in this publication, nor for direct or indirect, incidental, consequential or other damages that may result from such an inaccuracy, including, but not limited to, loss of data or profits. Please report any inaccuracies found to [support@mikrotik.com](mailto:support@mikrotik.com)



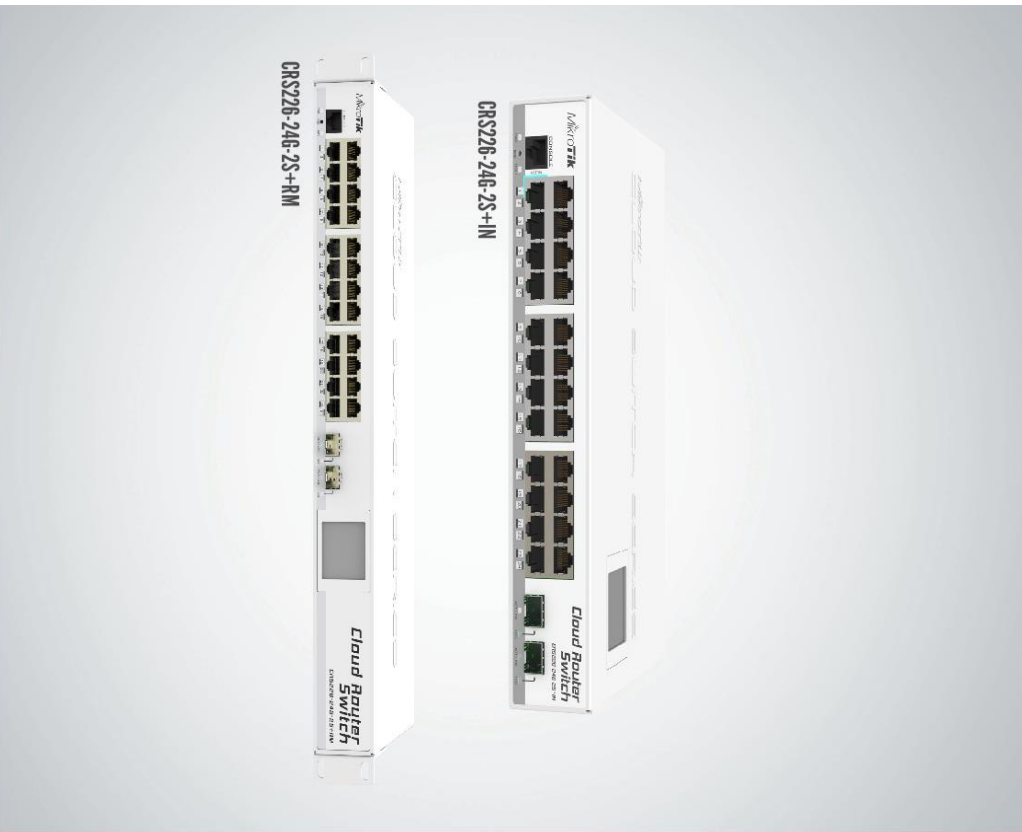
## CE Declaration of Conformity

Full Declaration of Conformity (DoC) may be obtained by visiting this web page: <http://routerboard.com/doc/>

[EN] English	Hereby, MIKROTİKLS SIA declares that this ROUTERBOARD is in compliance with the essential requirements and other relevant provisions of Directive 1999/5/EC.
[BG] Bulgarian	С настоящето, МИКРОТІКЛS SIA декларира, че ROUTERBOARD е в съответствие със съществени изисквания и други приложими разпоредби на Директива 1999/5/EC.
[CZ] Czech	MIKROTİKLS SIA tímto prohlašuje, že ROUTERBOARD splňuje základní požadavky a všechna příslušná ustanovení Směrnice 1999/5/ES.
[DK] Danish	Undertegnede MIKROTİKLS SIA erklærer herved, at følgende udstyr ROUTERBOARD overholder de væsentlige krav og øvrige relevante krav i direktiv 1999/5/EF.
[DE] German	Hiermit erklärt MIKROTİKLS SIA dass sich das Gerät ROUTERBOARD in Übereinstimmung mit den grundlegenden Anforderungen und den übrigen einschlägigen Bestimmungen der Richtlinie 1999/5/EG befindet.
[EE] Estonian	Käesolevaga kinnitab MIKROTİKLS SIA seadme ROUTERBOARD vastavust direktiivi 1999/5/EÜ põhinõuetele ja nimetatud direktiivist tulenevatele teistele asjakohastele sätetele.
[GR] Greek	ΜΕ ΤΗΝ ΠΑΡΟΥΣΑ Ο ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗΣ ΜΙΚΡΟΤΙΚΛS SΙΑ ΔΗΛΩΝΕΙ ΟΤΙ ROUTERBOARD ΣΥΜΜΟΡΦΩΝΕΤΑΙ ΠΡΟΣ ΤΙΣ ΟΥΣΙΩΔΕΙΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΤΙΣ ΛΟΙΠΕΣ ΣΧΕΤΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΤΗΣ ΟΔΗΓΙΑΣ 1999/5/ΕΚ
[ES] Spanish	Por la presente, MIKROTİKLS SIA declara que este ROUTERBOARD cumple con los requisitos esenciales y otras exigencias relevantes de la Directiva 1999/5/EC.
[IT] Italian	Con la presente MIKROTİKLS SIA dichiara che questo ROUTERBOARD è conforme ai requisiti essenziali ed alle altre disposizioni pertinenti stabilite dalla direttiva 1999/5/CE.
[LV] Latvian	Ar šo MIKROTİKLS SIA deklarē, ka ROUTERBOARD atbilst Direktīvas 1999/5/EK būtiskajām prasībām un citiem ar to saistītajiem noteikumiem.
[LT] Lithuanian	Šiuo MIKROTİKLS SIA deklaruoją, kad šis ROUTERBOARD atitinka esminius reikalavimus ir kitas 1999/5/EB Direktyvos nuostatas
[HU] Hungarian	A MIKROTİKLS SIA ezennel kijelenti, hogy a ROUTERBOARD típusú berendezés teljesíti az alapvető követelményeket és más 1999/5/EK irányelvben meghatározott vonatkozó rendelkezéseket.
[NL] Dutch	Hierbij verklaart MIKROTİKLS SIA dat het toestel ROUTERBOARD in overeenstemming is met de essentiële eisen en de andere relevante bepalingen van richtlijn 1999/5/EG.
[PL] Polish	Niniejszym MIKROTİKLS SIA deklaruje że ROUTERBOARD jest zgodny z zasadniczymi wymaganiami i innymi właściwymi postanowieniami Dyrektywy 1999/5/EC.
[PT] Portuguese	Eu, MIKROTİKLS SIA declaro que o ROUTERBOARD cumpre os requisitos essenciais e outras provisões relevantes da Directiva 1999/5/EC.
[RO] Romanian	Prin prezenta, MIKROTİKLS SIA declară că aparatul ROUTERBOARD este în conformitate cu cerințele esențiale și cu alte prevederi pertinente ale Directivei 1999/5/CE.
[SK] Slovak	MIKROTİKLS SIA týmto vyhlasuje, že ROUTERBOARD spĺňa základné požiadavky a všetky príslušné ustanovenia Smernice 1999/5/ES.
[SI] Slovenian	MIKROTİKLS SIA izjavlja, da je ta ROUTERBOARD v skladu z bistvenimi zahtevami in drugimi relevantnimi določili direktive 1999/5/ES.
[FI] Finnish	MIKROTİKLS SIA vakuuttaa täten että ROUTERBOARD tyyppinen laite on direktiivin 1999/5/EY oleellisten vaatimusten ja sitä koskevien direktiivin muiden ehtojen mukainen.
[SE] Swedish	Härmed intygar MIKROTİKLS SIA att denna RouterBOARD är i överensstämmelse med de väsentliga egenskapskrav och övriga relevanta bestämmelser som framgår av direktiv 1999/5/EG.
[NO] Norwegian	MIKROTİKLS SIA Erklærer herved at ROUTERBOARD er i samsvar med de grunnleggende krav og øvrige relevante krav i direktiv 1999/5/EF.

**BG. Инструкции:** Свържете адаптера на захранване, за да включите устройството. Отворете 192.168.88.1 в уеб браузър, за да настроите продукта. Подробна информация в <http://wiki.mikrotik.com>. **CZ. Návod k použití:** Připojte napájecí adaptér k zapnutí přístroje. Otevřete 192.168.88.1 ve webovém prohlížeči pro konfiguraci produktu. Více informací najdete v <http://wiki.mikrotik.com>. **DK. Instruktionsbog:** Tilslut strømadapteren for at tænde for enheden. Åbn 192.168.88.1 i en webbrowser til at konfigurere produktet. Mere information i <http://wiki.mikrotik.com>. **FR. Mode d'emploi:** Connectez l'adaptateur d'alimentation pour allumer l'appareil. Ouvrez 192.168.88.1 dans un navigateur Web pour configurer le produit. Plus d'informations dans <http://wiki.mikrotik.com>. **DE. Bedienungsanleitung:** Verbinden Sie das Netzteil, um das Gerät einzuschalten. Öffnen Sie 192.168.88.1 in einem Web-Browser, um das Produkt zu konfigurieren. Weitere Informationen im <http://wiki.mikrotik.com>. **EE. Kasutusjuhend:** Ühendage toiteadapter seadme sisselülitamiseks. Avatud 192.168.88.1 in veebilehtesja seadistada toodet. Rohkem teavet <http://wiki.mikrotik.com>. **ES. Manual de instrucciones:** Conecte el adaptador de alimentación para encender la unidad. Abra 192.168.88.1 en un navegador web para configurar el producto. Más información en <http://wiki.mikrotik.com>. **IT. Manuale di istruzioni:** Collegare l'adattatore di alimentazione per accendere l'unità. Aprire 192.168.88.1 in un browser Web per configurare il prodotto. Maggiori informazioni in <http://wiki.mikrotik.com>. **LV. Lietošanas instrukcija:** Pievienojiet Strāvas adapteri, lai ieslēgtu ierīci. Atvērt 192.168.88.1 ar interneta pārlūku, lai konfigurētu produktu. Plašāka informācija <http://wiki.mikrotik.com>. **LT. Naudojimosi instrukcija:** Prijunkite maitinimo adapterį įjunkite įrenginį. Į interneto naršyklę 192.168.88.1 Atidarykite galite konfigūruoti gaminį. Daugiau informacijos rasite <http://wiki.mikrotik.com>. **HU. Használati utasítás:** Csatlakoztassa a hálózati adaptert a készülék bekapcsolásához. Megnyitása 192.168.88.1 egy webböngészőben beállítani a terméket. Több információ <http://wiki.mikrotik.com>. **NL. Handleiding:** Sluit voedingsadapter aan op het apparaat in te schakelen. Open 192.168.88.1 in een webbrowser om het product te configureren. Meer informatie in <http://wiki.mikrotik.com>. **PL. Instrukcja obsługi:** Podłącz adapter zasilania, aby włączyć urządzenie. Otwórz 192.168.88.1 w przeglądarce internetowej, aby skonfigurować urządzenie. Więcej informacji w <http://wiki.mikrotik.com>. **PT. Manual de instruções:** Conecte o adaptador de alimentação para ligar o aparelho. Abra 192.168.88.1 em um navegador da web para configurar o produto. Mais informações em <http://wiki.mikrotik.com>. **RO. Instrucțiuni de utilizare:** Conectați adaptorul de alimentare pentru a porni aparatul. Deschide 192.168.88.1 într-un browser web pentru a configura produsul. Mai multe informații în <http://wiki.mikrotik.com>. **SK. Návod na použitie:** Pripojte napájací adaptér k zapnutiu prístroja. Otvorte 192.168.88.1 vo webovom prehliadači pre konfiguráciu produktu. Viac informácií nájdete v <http://wiki.mikrotik.com>. **SI. Navodila:** Priključite napajalnik za vklop naprave. Odprite 192.168.88.1 v spletnem brskalniku nastaviti izdelek. Več informacij v <http://wiki.mikrotik.com>. **FI. Käyttöohje:** Kytke virtalähde päälle laitteen. Avaa 192.168.88.1 in selaimen määrittää tuotteen. Lisää tietoa <http://wiki.mikrotik.com>. **SE. Instruktionsmanual:** Anslut nätadaptern för att slå på enheten. Öppna 192.168.88.1 i en webbläsare för att konfigurera produkten. Mer information på <http://wiki.mikrotik.com>. **NO. Bruksanvisningen:** Koble strømadapteren for å slå på enheten. Åpne 192.168.88.1 i en netleser for å konfigurere produktet. Mer informasjon på <http://wiki.mikrotik.com>. **GR. εγχειρίδιο οδηγιών:** Συνδέστε τον προσαρμογέα τροφοδοσίας για να ενεργοποιήσετε τη μονάδα. Ανοίξτε 192.168.88.1 σε ένα πρόγραμμα περιήγησης στο Web για να διαμορφώσετε το προϊόν. Περισσότερες πληροφορίες στο <http://wiki.mikrotik.com>

### ANEXO 3.-Datasheet RouterBOARD CRS226-24G-2S+RM



Cloud Router Switch

## CRS226-24G-2S+

Cloud Router Switch is our new member of our Smart Switch series. It combines the best features of a fully functional router and a Layer 3 switch, is powered by the familiar RouterOS. All the specific Switch configuration options are available in a special Switch menu, but if you want, ports can be removed from the switch configuration, and used for routing purposes

The CRS226 uses a new class of switch chips, which allows us to have two SFP+ ports for 10G connectivity.

- Fully manageable L3 switch, full wire speed switching
- Configure ports as switch, or for routing
- If required, full RouterOS power right there
- SFP+ ports for 10G connectivity

Two models are available:

- CRS226-24G-2S+IN - desktop enclosure
- CRS226-24G-2S+RM - 1U rackmount enclosure

CPU	Qualcomm Atheros QCA9519 400 MHz
Memory	64MB
Ethernet	24x 10/100/1000 Mbps Gigabit Ethernet with Auto-MDIX
SFP	Two 10G Ethernet SFP+ cages (Mini-GBIC; SFP module not included), DOMI support First port supports 1.25G/10G modules, second port only 10G modules.
Storage	128MB Onboard NAND with multiple OS partition support
Serial port	One RS485 serial port
Extras	Reset switch; beeper; voltage and temperature monitoring, touchscreen LCD
Power options	8-28V, 24V 1.2A PSU included, PoE in: 8-30V on Ether1
Case dimensions	285x145x45mm (IN model), 443x145x45mm (+RM model)
Temperature	-35C to +55C tested
OS	Mikrotik RouterOS v6, Level 5 license
Included	CRS switch, power adapter

MikroTik

CRS226-24G-2S+





# OmniTik U-5HnD

## The perfect outdoor AP

OmniTik is a weatherproof outdoor AP with dual-polarized omni antennas - the perfect companion for our SXT, or for any other 5GHz 802.11a/n standard device.

Weatherproof, durable and ready to use. It has five 10/100 Ethernet ports, PoE support and a built-in 400mW 802.11a/n wireless radio. It supports NV2 TDMA technology with up to 200Mbit aggregate throughput.

LED signal indicators on it's back are fully customisable, show Ethernet activity or wireless signal - or any other information from RouterOS.

The USB port gives the ability to connect a 3G modem or a storage drive. The OmniTik runs RouterOS with all it's features.

CPU	Atheros AR7241 400MHz network processor
Memory	32MB DDR SDRAM onboard memory
Boot loader	RouterBOOT
Data storage	64MB onboard NAND memory chip
Ethernet	Five 10/100 Mbit/s Fast Ethernet port with Auto-MDIX, L2MTU frame size up to 2030
Wireless	Wireless Built-in 5GHz 802.11a/n 2x2 MIMO
Antenna	Two 7.5dBi (+/-1dbi) omni with different polarities (ch0 horizontal, ch1 vertical polarization)
Extras	Reset switch, USB 2.0 port
LEDs	5 programmable LEDs (Ethernetactivity by default), one power LED
Power options	Passive 9-30V PoE only, 18KV ESD protection on RF port
Dimensions	368x125x56mm, 520g
Operating temperature	-30C to +70C
Operating system	MikroTik RouterOS v5, Level4 license
Package contains	OmniTik unit, mounting bracket, hose clamp, PoE injector, 24V power adapter
RX sensitivity	802.11a: -96 dbm @ 6Mbps to -80 dbm @ 54 Mbps 802.11n: -96 dbm @ MCS0 to -77 dbm @ MCS7
TX power	802.11a: 26dbm @ 6Mbps to 22dbm @ 54 Mbps 802.11n: 26dbm @ MCS0 to 19dbm @ MCS7
Modulations	OFDM: BPSK, QPSK, 16 QAM, 64QAM DSSS: DBPSK, DQPSK, CCK

# SXT Lite5

Our best price/performance 5Ghz CPE. The SXT Lite5 (product code RBSXT5nD2), 5Ghz 16dBi integrated antenna with 600MHz CPU, 64MB RAM and RouterOS L3 installed.

SXT Lite5 is a low cost, high transmit power 5GHz outdoor wireless device. It can be used for point to point links or as a CPE for point to multipoint installations.



Model	RBSXT5nD2
CPU	Atheros AR9344 600MHz CPU
Memory	64MB DDR2 SDRAM onboard memory
Ethernet	One 10/100 Ethernet port, L2MTU frame size up to 4076
Wireless cards	Onboard dual chain 5GHz 802.11a/n Atheros wireless module; 10KV ESD protection on each RF port
Extras	Reset switch, buzzer
LEDs	Power LED, Ethernet LED, 5 wireless signal LED
Power options	Power over Ethernet: 8-30V DC Packaged with 24V DC 0.38A power adapter and passive PoE injector
Dimensions	140x140x56mm. Weight without packaging, adapters and cables: 265g
Power consumption	Up to 8W
Operating Temp	-30C .. +80C
OS	MikroTik RouterOS, Level3 license
Package contains	one SXT Lite5 unit, PoE injector, 24V power adapter, mounting bracket, metallic mounting loop.
Certifications	FCC, CE, ROHS
Antenna	Dual polarization 5GHz antenna, 16dBi, -35 dB port to port isolation
RX sensitivity	<b>802.11a:</b> -95 dBm @ 6Mbps to -80 dBm @ 54 Mbps <b>802.11n:</b> -95 dBm @ MCS0 20MHz to -77 dBm @ MCS7 40MHz
TX power	<b>802.11a:</b> 27dBm @ 6Mbps to 23dBm @ 54 Mbps <b>802.11n:</b> 27dBm @ MCS0/6 to 22dBm @ MCS7/15
Modulations	OFDM: BPSK, QPSK, 16 QAM, 64QAM DSSS: DSSS, DQPSK, CCK

## ANEXO 6.-RECOMENDACIÓN UIT-R P.1238-2 (UIT, 2001)

Rec. UIT-R P.1238-2

1

### RECOMENDACIÓN UIT-R P.1238-2

#### **Datos de propagación y métodos de predicción para la planificación de sistemas de radiocomunicaciones de interiores y redes de radiocomunicaciones de área local en la gama de frecuencias de 900 MHz a 100 GHz**

(Cuestión UIT-R 211/3)

(1997-1999-2001)

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

*considerando*

- a) que se están desarrollando muchas nuevas aplicaciones de comunicaciones personales de corto alcance (distancia de explotación inferior a 1 km), que funcionarán en interiores;
- b) que hay una gran demanda de redes radioeléctricas de área local (RLAN, *radio local area networks*) y de centralitas privadas empresariales inalámbricas (WPBX, *wireless private business exchanges*), como demuestran los productos existentes y la intensa actividad de investigación;
- c) que conviene establecer normas RLAN compatibles con las comunicaciones alámbricas e inalámbricas;
- d) que los sistemas de corto alcance que consumen poca potencia tienen muchas ventajas para el suministro de servicios en los entornos móviles y personales;
- e) que el conocimiento de las características de propagación dentro de los edificios y la interferencia ocasionada por múltiples usuarios en la misma zona es crítico para el diseño eficaz de los sistemas;
- f) que se requieren modelos generales (esto es, independientes de la instalación) y asesoramiento para comenzar a planificar los sistemas y evaluar la interferencia, así como para elaborar modelos determinísticos (para una instalación determinada), con el fin de realizar evaluaciones detalladas,

*recomienda*

- 1 que se adopte la información y los métodos consignados en el Anexo 1 para evaluar las características de propagación de los sistemas radioeléctricos de interiores entre 900 MHz y 100 GHz.

### ANEXO 1

#### **1 Introducción**

En el caso de los sistemas radioeléctricos de interiores, la predicción de la propagación difiere en cierta medida de la que se efectúa en relación con los sistemas de exteriores. El objetivo, como sucede en el caso de los sistemas de exteriores, es garantizar una cobertura eficaz de la zona deseada (para garantizar un trayecto fiable, cuando se trata de sistemas punto a punto) y evitar la interferencia tanto dentro del sistema como con otros sistemas. No obstante, en interiores la

cobertura depende notablemente de la geometría de los edificios, cuyos límites afectan además a la propagación. Aparte de la reutilización de frecuencias en el mismo piso de un edificio, suele ser necesario reutilizar una frecuencia entre diferentes pisos del mismo edificio, por lo cual hay que considerar una tercera dimensión en las cuestiones de interferencia. Por último, la gama de ondas muy cortas, especialmente cuando se utilizan frecuencias de ondas milimétricas, implica que los pequeños cambios en el entorno inmediato del trayecto radioeléctrico pueden afectar sustancialmente a las características de propagación.

Debido a la complejidad de estos factores, sería necesario un conocimiento detallado del lugar de instalación como por ejemplo, geometría, materiales, mobiliario y normas de utilización previstas, para proyectar concretamente un sistema radioeléctrico en interiores. No obstante, durante la planificación inicial de un sistema hay que estimar el número de estaciones de base necesarias para proporcionar cobertura a estaciones móviles diseminadas dentro de la zona y estimar la interferencia que puede ocasionarse a otros servicios o producirse entre los sistemas. Para esa planificación de sistemas se necesitan modelos que representen en general las características de propagación en ese entorno. Ahora bien, el modelo no debe exigir la aportación de un gran volumen de información por parte del usuario para poder efectuar los cálculos necesarios.

En este Anexo se describen principalmente modelos generales independientes del lugar de instalación y se ofrece información cualitativa sobre los factores que pueden afectar a la propagación en un entorno radioeléctrico en interiores. Siempre que ha sido posible, hemos presentado modelos aplicables a una instalación determinada. En muchos casos, los datos disponibles para elaborar modelos son limitados, tanto en lo que concierne a las frecuencias como a los entornos de prueba; es de esperar que se amplíe la información contenida en este Anexo cuando se disponga de más datos. Asimismo, aunque la precisión de los modelos mejorará con la experiencia que se adquiera de su aplicación, este Anexo contiene la mejor información disponible hasta el momento.

## **2 Degradación de la propagación y mediciones de calidad de los sistemas radioeléctricos en interiores**

Las degradaciones de la propagación en un canal radioeléctrico en interiores se deben principalmente a:

- la reflexión de los objetos (incluidas paredes y suelos) y la difracción en torno a éstos dentro de las salas;
- la pérdida de transmisión a través de paredes, suelos y otros obstáculos;
- la canalización de la energía, especialmente en pasillos a frecuencias elevadas;
- el movimiento de personas y objetos en la sala, lo que puede incluir uno o ambos extremos del enlace radioeléctrico;

y producir degradaciones tales como:

- la pérdida del trayecto – no sólo la pérdida en el espacio libre sino también la pérdida adicional debida a los obstáculos y la transmisión a través de materiales de construcción. La pérdida en el espacio libre se puede reducir mediante la distribución de canales;
- la variación temporal y espacial de la pérdida del trayecto;
- los efectos de los trayectos múltiples de los componentes reflejados y difractados de la onda;
- el desajuste de la polarización ocasionado por la alineación aleatoria del terminal móvil.

Los servicios de comunicaciones inalámbricas de interiores pueden caracterizarse por los siguientes aspectos:

- velocidad de datos alta/media/baja;
- zona de cobertura de cada estación de base (por ejemplo, habitación, piso, edificio);
- móvil/portátil/fijo;
- en tiempo real/casi real/no en tiempo real;
- topología de la red (por ejemplo, punto a punto, punto a multipunto, de cada punto a cada punto).

Conviene determinar las características de propagación de canal más adecuadas para describir su calidad con respecto a diferentes aplicaciones como, por ejemplo, los servicios de comunicación vocal, transferencia de datos a diferentes velocidades y vídeo. En el Cuadro 1 se indican las características más significativas de servicios típicos.

CUADRO 1

#### Servicios típicos y degradaciones de la propagación

Servicio	Características	Degradaciones perjudiciales de la propagación
Red de área local inalámbrica	Alta velocidad de datos, una o varias habitaciones, portátil, no en tiempo real, punto a multipunto o de cada punto a cada punto	Pérdida de trayecto – distribución temporal y espacial Retardo de propagación por trayectos múltiples Relación de intensidades en el modo deseado y en el no deseado
WPBX	Velocidad de datos media, múltiples habitaciones, uno o múltiples pisos, en tiempo real, móvil, punto a multipunto	Pérdida de trayecto – distribución temporal y espacial
Radiobúsqueda en interiores	Baja velocidad de datos, múltiples pisos, no en tiempo real, móvil, punto a multipunto	Pérdida de trayecto – distribución temporal y espacial
Vídeo inalámbrico en interiores	Alta velocidad de datos, múltiples habitaciones, en tiempo real, móvil o portátil, punto a punto	Pérdida de trayecto – distribución temporal y espacial Retardo de propagación por trayectos múltiples

### 3 Modelos de pérdida de trayecto

La utilización del presente modelo de pérdida de transmisión en interiores supone que la estación de base y el terminal portátil están situados en el mismo edificio. La pérdida de trayecto radioeléctrico entre la estación básica y la móvil/portátil en interiores puede estimarse aplicando modelos generales o específicos para cada instalación.



### 3.1 Modelos generales en cuanto al lugar de instalación

Los modelos que se describen en este punto se consideran generales en cuanto al lugar de instalación, ya que requieren poca información sobre el trayecto o el lugar de instalación. La pérdida de trayecto radioeléctrico en interiores se caracteriza por una pérdida de trayecto media y las estadísticas asociadas de desvanecimiento debido a sombras. Existen varios modelos de pérdida de trayecto en interiores que tienen en cuenta la atenuación de la señal a través de múltiples paredes y/o pisos. En el modelo descrito en este punto se considera la pérdida a través de varios pisos, a fin de tener presentes características tales como la reutilización de frecuencias entre distintos pisos. Los coeficientes de pérdida de potencia debida a la distancia que se indican a continuación tienen en cuenta implícitamente la transmisión a través de paredes así como a través de obstáculos y por encima de éstos, así como otros factores de pérdidas que pueden manifestarse en un solo piso de un edificio. Los modelos para instalaciones específicas podrían ofrecer la posibilidad de incorporar explícitamente la pérdida debida a cada pared, en lugar de incluirla en el modelo basado en la distancia.

El modelo básico se presenta como sigue:

$$L_{total} = 20 \log_{10} f + N \log_{10} d + L_f(n) - 28 \quad \text{dB} \quad (1)$$

donde:

$N$ : coeficiente de pérdida de potencia debida a la distancia

$f$ : frecuencia (MHz)

$d$ : distancia de separación (m) entre la estación de base y el terminal portátil (siendo  $d > 1$  m)

$L_f$ : factor de pérdida de penetración en el suelo (dB)

$n$ : número de pisos entre la estación de base y el terminal portátil ( $n \geq 1$ ).

En los Cuadros 2 y 3 se indican los parámetros típicos basados en el resultado de algunas medidas que se han realizado. Al final de este punto se especifican adicionalmente directrices generales.

CUADRO 2

**Coeficientes de pérdida de potencia,  $N$ , para el cálculo de la pérdida de transmisión en interiores**

Frecuencia	Edificio residencial	Edificio de oficinas	Edificio comercial
900 MHz	–	33	20
1,2-1,3 GHz	–	32	22
1,8-2 GHz	28	30	22
4 GHz	–	28	22
5,2 GHz	–	31	–
60 GHz <sup>(1)</sup>	–	22	17

<sup>(1)</sup> Para llegar al valor de 60 GHz se parte de la hipótesis de la propagación dentro de una sola sala o espacio y no se tiene en cuenta en modo alguno la transmisión a través de las paredes. La absorción gaseosa en torno a los 60 GHz es significativa para distancias superiores a unos 100 m, lo que puede afectar a las distancias de reutilización de frecuencias (véase la Recomendación UIT-R P.676).

CUADRO 3

**Factores de pérdida de penetración en el suelo,  $L_f$  (dB), siendo  $n$  el número de pisos penetrados, para el cálculo de la pérdida de transmisión en interiores ( $n \geq 1$ )**

Frecuencia	Edificio residencial	Edificio de oficinas	Edificio comercial
900 MHz	–	9 (1 piso) 19 (2 pisos) 24 (3 pisos)	–
1,8-2 GHz	$4n$	$15 + 4(n - 1)$	$6 + 3(n - 1)$
5,2 GHz	–	16 (1 piso)	–

En las diferentes bandas de frecuencia en que no se disponga de un coeficiente de pérdida de potencia aplicable a los edificios residenciales, puede utilizarse el correspondiente a los edificios de oficinas.

Hay que señalar que puede haber un límite al aislamiento previsto a través de varios pisos. La señal puede pasar por otros trayectos externos para completar el enlace con un pérdida total inferior a la pérdida de penetración a través de un gran número de pisos.

Cuando se excluyen los trayectos externos, las mediciones en 5,2 GHz han demostrado que con incidencia normal la pérdida adicional media debida a un suelo de cemento reforzado típico con un techo falso suspendido es de 20 dB, con una desviación típica de 1,5 dB. Los dispositivos de iluminación aumentaron las pérdidas medias a 30 dB, con una desviación típica de 3 dB, y los conductos de aire bajo el suelo aumentaron las pérdidas medias a 36 dB, con una desviación típica de 5 dB. En modelos específicos al lugar tales como trazados de rayos deberán utilizarse estos valores en vez de  $L_f$ .

Las estadísticas de desvanecimiento debido a sombras en interiores son log-normales y los valores de desviación típica (dB) figuran en el Cuadro 4.

CUADRO 4

**Estadísticas de desvanecimiento debido a sombras, desviación típica (dB)  
para el cálculo de la pérdida de transmisión en interiores**

Frecuencia (GHz)	Edificio residencial	Edificio de oficinas	Edificio comercial
1,8-2	8	10	10
5,2	–	12	–

Aunque las mediciones se han realizado en condiciones diferentes, lo cual dificulta las comparaciones directas, y sólo se han comunicado resultados sobre un número limitado de bandas de frecuencias, se pueden sacar unas cuantas conclusiones generales, especialmente en el caso de la banda 900-2 000 MHz.

- En los trayectos con un componente de visibilidad directa predomina la pérdida en el espacio libre y estos trayectos tienen un coeficiente de aproximadamente 20 de pérdida de potencia debida a la distancia.

- Las grandes salas abiertas tienen también un coeficiente de aproximadamente 20 de pérdida de potencia debida a la distancia; ello puede deberse a un importante componente de visibilidad directa en la mayoría de las zonas de la sala. A este respecto, pueden citarse los grandes almacenes, estadios deportivos y fábricas y oficinas sin separaciones interiores.
- En los pasillos se registra una pérdida de trayecto inferior a la que se produce en espacio libre, con un coeficiente típico de aproximadamente 18 de pérdida de potencia debida a la distancia. Las tiendas de alimentación con largas estanterías lineales presentan la pérdida característica de los pasillos.
- La propagación en torno a obstáculos y a través de paredes contribuye considerablemente a la pérdida que puede producirse al poder elevarse hasta un valor del orden de 40 el coeficiente de pérdida de potencia debida a la distancia en un entorno típico. A este respecto pueden citarse los espacios entre salas en edificios de oficinas con separaciones interiores.
- En el caso de largos trayectos sin obstrucciones, puede producirse el primer umbral de zona de Fresnel. A esa distancia, el coeficiente de pérdida de potencia debida a la distancia puede pasar de 20 a 40 aproximadamente.
- No siempre se observa o explica claramente la reducción del coeficiente de pérdida de trayecto con el aumento de la frecuencia para un entorno de oficina (Cuadro 2). Por otro lado, al aumentar la frecuencia, aumenta la pérdida debida a los obstáculos (por ejemplo, paredes, mobiliario), y las señales difractadas contribuyen menos a la potencia recibida; además, la zona de Fresnel está menos obstruida a frecuencias superiores, lo que produce una pérdida menor. La pérdida de trayecto real depende de estos mecanismos opuestos.

### 3.2 Modelos específicos en cuanto al lugar de instalación

Para estimar la pérdida de trayecto o la intensidad de campo, también conviene utilizar modelos específicos en cuanto al lugar de instalación. Se dispone de modelos para predecir la intensidad de campo en interiores basados en la teoría uniforme de la difracción y técnicas de trazado de rayos. Para calcular la intensidad de campo en interiores se necesita información detallada sobre la estructura del edificio. Estos modelos combinan elementos empíricos con el método electromagnético teórico de la teoría uniforme de la difracción. El método tiene en cuenta los rayos directos, con una sola reflexión y una sola difracción, y puede ampliarse a múltiples difracciones o múltiples reflexiones, así como a combinaciones de rayos difractados y reflejados. Al incluir los rayos reflejados y difractados, la precisión de la predicción de la pérdida de trayecto aumenta considerablemente.

## 4 Modelos de dispersión del retardo

### 4.1 Trayectos múltiples

El canal radioeléctrico de propagación móvil/portátil varía con el tiempo, la frecuencia y el desplazamiento espacial. Incluso en situación estática en que el transmisor y el receptor están fijos, el canal puede ser dinámico ya que puede haber dispersores y reflectores en movimiento. La expresión trayectos múltiples se justifica por el hecho de que, debido a la reflexión, la difracción y la dispersión, las ondas radioeléctricas pueden viajar por muchos trayectos de un transmisor a un receptor. Hay asociado con cada uno de esos trayectos un retardo proporcional a la longitud de los

misimos. (Se puede obtener una estimación muy aproximada del retardo máximo que cabe esperar en un determinado entorno, tomando simplemente las dimensiones de una sala y sabiendo que el tiempo (ns) que tarda un impulso radioeléctrico en recorrer la distancia  $d$  (m) es de aproximadamente  $3,3 d$ .) Estas señales retardadas, cada una de ellas con una amplitud asociada, forman un filtro lineal cuyas características varían con el tiempo.

#### 4.2 Respuesta a los impulsos

El objetivo de la preparación de modelos de canales es ofrecer representaciones matemáticas precisas de la propagación radioeléctrica para utilizarlas en simulaciones de enlaces y sistemas radioeléctricos con el fin de elaborar modelos de instalación de sistemas. Como el canal radioeléctrico es lineal, queda descrito íntegramente por su respuesta a los impulsos. Una vez conocida la respuesta a los impulsos, puede determinarse la respuesta del canal radioeléctrico a cualquier elemento de entrada. En esto se basa la simulación de la calidad de funcionamiento de los enlaces.

La respuesta a los impulsos se representa normalmente como densidad de potencia en función del exceso de retardo, con respecto a la primera señal detectable. Esta función suele denominarse perfil de retardo de potencia y se ejemplifica en la Fig. 1 de la Recomendación UIT-R P.1407, aunque la escala de tiempo de los canales en interiores debe medirse en nanosegundos y no en microsegundos. Esta Recomendación también contiene definiciones de varios parámetros que caracterizan los perfiles de respuesta a los impulsos.

La respuesta de un canal a los impulsos varía con la posición del receptor y puede hacerlo también con el tiempo. En consecuencia, se mide y considera normalmente como una media de perfiles medidos en una longitud de onda para reducir los efectos del ruido, o en varias longitudes de onda para determinar un promedio espacial. Es importante definir claramente de qué media se habla e indicar cómo se ha calculado esa media. El procedimiento de promediación recomendado consiste en preparar un modelo estadístico de la siguiente forma: para cada estimación de la respuesta a los impulsos (perfil de retardo de potencia), hay que precisar los tiempos antes y después del retardo medio,  $T_D$ , (véase la Recomendación UIT-R P.1407, por encima del cual la densidad de potencia no excede valores específicos (-10, -15, -20, -25, -30 dB) con respecto a la densidad de potencia máxima. El modelo queda constituido por el valor mediano y, si se desea, por el percentilo del 90% de las distribuciones de estos tiempos.

#### 4.3 Dispersión cuadrática media del retardo

Como se ha indicado anteriormente, los perfiles del retardo de potencia suelen caracterizarse por uno o varios parámetros. Estos parámetros deberían calcularse a partir de perfiles promediados en un área cuyas dimensiones son equivalentes a varias longitudes de onda (aunque el parámetro dispersión cuadrática media del retardo se halla algunas veces a partir de ciertos perfiles y los valores resultantes se promedian, pero en general el resultado no es el mismo que el que arroja un perfil promediado). Habría que comunicar un umbral de exclusión de ruido o criterio de aceptación, de, por ejemplo, 30 dB por debajo del valor máximo del perfil, junto con la dispersión del retardo resultante, que depende de este umbral.

Aunque la dispersión cuadrática media del retardo se utiliza con gran frecuencia, no siempre define adecuadamente el perfil del retardo. En entornos de trayectos múltiples en los cuales la dispersión del retardo sobrepasa la duración de los símbolos, la proporción de bits erróneos para la modulación con desplazamiento de fase depende no tanto de la dispersión cuadrática media del retardo como de la relación entre la potencia recibida de la onda deseada y la de la no deseada. Esto es particularmente evidente en el caso de sistemas de alta velocidad de símbolos, pero también se registra incluso a velocidades de símbolos bajas en que hay una fuerte señal dominante entre los componentes de trayectos múltiples (desvanecimiento de Rice).

Con todo, si se parte de un perfil de disminución exponencial, basta para expresar la dispersión cuadrática media del retardo en lugar del perfil de retardo de potencia. En este caso, la respuesta a los impulsos puede reconstruirse aproximadamente de la siguiente forma:

$$h(t) = \begin{cases} e^{-t/S} & \text{para } 0 \leq t \leq t_{m\acute{a}x} \\ 0 & \text{en otros casos} \end{cases} \quad (2)$$

donde:

$S$ : dispersión cuadrática media del retardo

$t_{m\acute{a}x}$ : retardo máximo

$t_{m\acute{a}x} \gg S$ .

La utilización de la dispersión cuadrática media del retardo como parámetro de salida del modelo tiene la ventaja de que ese modelo puede expresarse simplemente en forma de cuadro. En el Cuadro 5 se indican una serie de parámetros característicos de dispersión del retardo, estimados a partir de perfiles de retardo promediados para tres entornos en interiores. Estos valores se basan en mediciones realizadas a 1 900 MHz y 5,2 GHz, con antenas omnidireccionales. (Hay pocos indicios de que estos parámetros dependan mucho de la frecuencia cuando se utilizan antenas omnidireccionales. Para otros diagramas de antena, véanse las consideraciones del § 5.) En el Cuadro 5, la columna B contiene valores medianos que se registran con frecuencia, la columna A contiene valores inferiores pero no extremos que también se registran a menudo, mientras que la columna C contiene valores muy elevados que se obtienen rara vez. Los valores que figuran en el Cuadro representan las dimensiones más grandes que pueden tener las salas en cada entorno.

CUADRO 5

Parámetros de dispersión cuadrática media del retardo

Frecuencia	Entorno	A (ns)	B (ns)	C (ns)
1 900 MHz	Edificios residenciales, interiores	20	70	150
1 900 MHz	Oficinas, interiores	35	100	460
1 900 MHz	Edificios comerciales, interiores	55	150	500
5,2 GHz	Oficinas, interiores	45	75	150

Dentro de un determinado edificio la dispersión del retardo tiende a aumentar con la distancia entre las antenas y, por tanto, con la pérdida del trayecto. El aumento de la distancia entre las antenas trae consigo una mayor probabilidad de que se obstruya el trayecto y de que la señal recibida consista únicamente en trayectos dispersados.

#### 4.4 Modelos estadísticos

En los modelos estadísticos se resumen los resultados de un gran número de mediciones de forma tal que puedan utilizarse para la simulación de transmisiones. Así, por ejemplo, estas simulaciones pueden efectuarse recurriendo a un modelo de canal discreto de dispersión realmente estacionaria sin correlación (WSSUS, *wide-sense stationary uncorrelated scattering*). Una forma de hacerlo es reemplazar el gran número de trayectos dispersados que pueden existir en un canal real por sólo

unos pocos,  $N$ , componentes de trayectos múltiples en el modelo. A continuación, la superposición de componentes de trayectos múltiples indeterminados que llegan con ángulos diferentes y retardos próximos al retardo,  $\tau_n$ , del  $n$ -ésimo componente de trayectos múltiples del modelo, se representa por medio de un modelo gaussiano complejo  $g_n(t)$  variable con el tiempo. La respuesta de impulsos  $h(t)$  viene dada por:

$$h(t) = \sum_{n=1}^N \sqrt{p_n} g_n(t) \delta(t - \tau_n) \quad (3)$$

donde  $p_n$  es la potencia recibida del  $n$ -ésimo componente de trayectos múltiples del modelo. Los modelos estadísticos de este tipo requieren parámetros adecuados para cada componente.

#### 4.5 Modelos para una instalación determinada

Aunque los modelos estadísticos permiten obtener directrices de planificación, los modelos determinísticos (o para una instalación determinada) son muy útiles para los diseñadores de sistemas. Existen varias técnicas determinísticas para modelar la propagación. En el caso de aplicaciones en interiores, se ha estudiado especialmente la técnica de dominio temporal con diferencias finitas y la técnica de óptica geométrica. Esta última es más eficaz a efectos de cálculo que el dominio temporal con diferencias finitas.

Hay dos enfoques básicos de la técnica de óptica geométrica, a saber, el de imagen y el de lanzamiento de rayos. En el de imagen se utilizan las imágenes del receptor con respecto a todas las superficies reflectantes del entorno. Se calculan las coordenadas de todas las imágenes y, a continuación, se trazan rayos hacia dichas imágenes.

El lanzamiento de rayos consiste en lanzar cierto número de rayos de manera uniforme en el espacio en torno a la antena del transmisor. Los rayos son seguidos hasta que alcanzan el receptor o su amplitud se reduce por debajo de un límite especificado. Comparado con el enfoque de imagen, el de lanzamiento de rayos es más flexible, ya que los rayos difractados y dispersados pueden examinarse junto con las reflexiones especulares. Asimismo, la técnica de partición de rayos o el método de variación, permite ahorrar tiempo de cálculo, cuando se mantiene una resolución adecuada. El enfoque de lanzamiento de rayos es una técnica apropiada para predecir en una zona la respuesta de un canal a los impulsos, mientras que el enfoque de imagen se adecua a la predicción punto a punto.

En los modelos determinísticos se hacen, por regla general, hipótesis sobre los efectos de los materiales de construcción a las frecuencias de que se trate (véase el § 7 relativo a las propiedades de los materiales de construcción). En un modelo para una instalación determinada debería tenerse en cuenta la geometría del entorno, así como la reflexión, la difracción y la transmisión a través de las paredes. La respuesta a los impulsos en un determinado punto viene dada por la siguiente fórmula:

$$h(t) = \sum_{n=1}^N \left[ \left( \prod_{u=1}^{M_{rn}} \Gamma_{mu} \times \prod_{v=1}^{M_{pn}} P_{nv} \right) \frac{1}{r_n} \cdot e^{-j\omega\tau_n} \cdot \delta(t - \tau_n) \right] \quad (4)$$

donde:

- $h(t)$ : respuesta de impulso
- $N$ : número de rayos incidentes
- $M_{rn}$ : número de reflexiones del rayo  $n$
- $M_{pn}$ : número de penetraciones del rayo  $n$

- $\Gamma_{nu}$ : coeficiente de reflexión del rayo  $n$  contra la  $u$ -ésima pared  
 $P_{nv}$ : coeficiente de penetración del rayo  $n$  por la  $v$ -ésima pared  
 $r_n$ : longitud del trayecto del rayo  $n$   
 $\tau_n$ : retardo del rayo  $n$ .

Los rayos reflejados por las paredes y otras superficies, o que penetran a través de las mismas, se calculan recurriendo a las ecuaciones de Fresnel. En el § 7 se indican los valores medidos de la permitividad de ciertos materiales de construcción.

Además de los rayos que son reflejados o que penetran descritos en la ecuación (4), habría que incluir también los rayos difractados y dispersados para modelar adecuadamente las señales recibidas. Este caso se da sobre todo en corredores con esquinas y otras situaciones similares de propagación. Es posible aplicar la teoría uniforme de la difracción para calcular los rayos difractados.

## 5 Efectos de la polarización y diagrama de radiación de la antena

En interiores no sólo hay un trayecto directo sino también trayectos reflejados y difractados entre el transmisor y el receptor. Las características de reflexión de los materiales de construcción dependen de la polarización, el ángulo de incidencia y la permitividad compleja de los materiales, como se representa en la fórmula de reflexión de Fresnel. Los ángulos de incidencia de los componentes de trayectos múltiples se distribuyen en función de las anchuras de banda de la antena, las estructuras del edificio y el emplazamiento del transmisor y el receptor. En consecuencia, la polarización y el diagrama efectivo de radiación de antena pueden afectar significativamente las características de propagación en interiores.

### 5.1 Visibilidad directa

Es bien sabido que en los canales con visibilidad directa las antenas direccionales reducen la dispersión cuadrática media del retardo en comparación con las antenas omnidireccionales, y que la polarización circular también la reduce con respecto a la polarización lineal. De ahí que en este caso una antena de polarización circular direccional represente un medio eficaz para reducir la dispersión del retardo.

El principal motivo de que la dispersión dependa de la polarización es que, cuando la señal de polarización circular incide en una superficie reflejante con un ángulo de incidencia inferior al ángulo de Brewster, se invierte el sentido de polarización de la señal de polarización circular reflejada. La inversión de la señal de polarización circular en cada reflexión significa que los componentes de trayectos múltiples que llegan después de una reflexión están polarizados ortogonalmente con respecto al componente de visibilidad directa, lo cual elimina una parte considerable de la interferencia por trayectos múltiples. Este efecto es independiente de la frecuencia como se ha predicho teóricamente y ha quedado demostrado en una serie de experimentos sobre propagación en interiores en la gama de 1,3 GHz a 60 GHz, y se aplica tanto en interiores como en exteriores. Como todos los materiales de construcción actuales tienen ángulos de Brewster superiores a 45°, los trayectos múltiples debidos a reflexiones puntuales (esto es, la fuente principal de componentes de trayectos múltiples) se suprimen, de hecho, en la mayoría de las salas, con independencia de la estructura interior y los materiales de la misma. Las posibles excepciones están constituidas por entornos en que ángulos de incidencia muy grandes predominan en los trayectos múltiples, por ejemplo en largos vestíbulos. Las variaciones de la dispersión cuadrática media del retardo en un enlace en movimiento se reducen asimismo al utilizar antenas de polarización circular.

Como los componentes de la propagación por trayectos múltiples tienen ángulos de incidencia diferentes, los componentes que quedan fuera de la anchura del haz de las antenas se filtran espacialmente si se utilizan antenas direccionales, a fin de reducir la dispersión del retardo. La medición de la propagación y las simulaciones de trazado de rayos efectuadas a 60 GHz en interiores, con una antena de transmisión omnidireccional y cuatro tipos diferentes de antenas receptoras (omnidireccional, de haz ancho, de bocina normal y de haz estrecho) dirigidas hacia la antena transmisora, revelan que la supresión de los componentes del retardo es más eficaz con anchuras de haz estrechas. En el Cuadro 6 se dan varios ejemplos de cómo depende de la directividad de la antena la dispersión cuadrática media estática del retardo no excedida en el percentilo del 90% y obtenida con simulaciones de trazado de rayos a 60 GHz en una oficina vacía. Hay que señalar que la reducción de la dispersión cuadrática media del retardo no siempre es deseable, ya que puede entrañar un aumento de las gamas dinámicas del desvanecimiento de las señales de banda ancha, como resultado de la ausencia inherente de diversidad de frecuencias. Asimismo, hay que señalar que ciertos planes de transmisión se benefician de los efectos de los trayectos múltiples.

CUADRO 6

**Ejemplo de dependencia de la dispersión cuadrática media del retardo con respecto a la directividad de la antena**

Frecuencia (GHz)	Antena de transmisión	Anchura de haz de la antena de recepción (grados)	Dispersión cuadrática media estática del retardo (percentilo del 90%) (ns)	Dimensión de la sala (m)	Observaciones
60	Omnidireccional	Omnidireccional	17	13,5 × 7,8	Trazado de rayos
		60	16	Oficina vacía	
		10	5		
		5	1		

## 5.2 Trayecto obstruido

Cuando el trayecto directo está obstruido, puede ser más complicado determinar la dependencia de la dispersión del retardo con respecto a la polarización y la directividad de la antena que en un trayecto de visibilidad directa. Se dispone de varios resultados de experimentos con trayectos obstruidos pero el resultado obtenido en un experimento a 2,4 GHz indica que la dependencia de la dispersión del retardo con respecto a la polarización y la directividad de la antena en el trayecto obstruido es muy diferente de la correspondiente a un trayecto de visibilidad directa. Por ejemplo, una antena omnidireccional polarizada horizontalmente en el transmisor y una antena receptora de polarización circular direccional arrojan las dispersiones cuadráticas medias del retardo más reducidas y el exceso de retardo máximo más bajo en el trayecto obstruido.



### 5.3 Orientación del terminal móvil

En los sistemas radioeléctricos portátiles los factores más importantes de la propagación son generalmente la reflexión y la dispersión de la señal. La energía suele dispersarse de la polarización transmitida a polarizaciones ortogonales. En esas condiciones, el acoplamiento de polarización cruzada aumenta la probabilidad de obtener niveles de recepción adecuados en aparatos de radio portátiles orientados aleatoriamente. Las mediciones del acoplamiento de polarización cruzada efectuadas a 816 MHz indican un alto nivel de acoplamiento.

## 6 Efectos de la ubicación del transmisor y el receptor

Se han hecho sólo unas pocas investigaciones experimentales y teóricas sobre los efectos de la ubicación del transmisor y el receptor sobre las características de propagación en interiores. Sin embargo, en general puede decirse que la estación de base debe situarse lo más alto posible cerca del techo de la sala para alcanzar trayectos de visibilidad directa lo más lejos posible. Tratándose de terminales portátiles, es evidente que la posición del terminal de usuario dependerá del movimiento del usuario más que de las limitaciones inherentes del diseño del sistema. Sin embargo, en el caso de los terminales portátiles se sugiere que la antena esté situada a una altura suficiente para garantizar visibilidad directa con la estación de base, siempre que sea posible. Asimismo, la elección del emplazamiento de la estación es un factor muy importante de los parámetros de configuración del sistema como, por ejemplo, los arreglos de diversidad espacial, la configuración de la zona, etc.

## 7 Efectos de los materiales de construcción, los acabados y el mobiliario

Las características de propagación en interiores se ven afectadas por la reflexión en los materiales de construcción y la transmisión a través de éstos. Las características de reflexión y transmisión de esos materiales dependen de la permitividad compleja de los mismos. Huelga decir que en los modelos de predicción de la propagación para una ubicación determinada es preciso introducir como datos básicos la permitividad compleja de los materiales de construcción y la estructura del edificio.

En el Cuadro 7 se consigna la permitividad compleja de los materiales de construcción típicos, obtenidas por experimentación a 1, 57,5, 78,5 y 95,9 GHz. Estas permitividades revelan diferencias apreciables entre un material y otro, pero dependen poco de la frecuencia en la gama de frecuencias de 60-100 GHz, excepto en el caso del suelo cuya permitividad varía en un 10%.

A partir de la permitividad compleja  $\eta$ , el coeficiente de reflexión viene dado por:

$$R_N = \frac{\cos \theta - \sqrt{\eta - \sin^2 \theta}}{\cos \theta + \sqrt{\eta - \sin^2 \theta}} \quad (\text{Vector E normal al plano de reflexión}) \quad (5a)$$

$$R_P = \frac{\cos \theta - \sqrt{(\eta - \sin^2 \theta)/\eta^2}}{\cos \theta + \sqrt{(\eta - \sin^2 \theta)/\eta^2}} \quad (\text{Vector E en el plano de reflexión}) \quad (5b)$$

$$R_C = \frac{R_N + R_P}{2} \quad (\text{Polarización circular}) \quad (5c)$$

donde el plano de reflexión es el plano en que se encuentran los rayos incidente y reflejado, y  $\theta$  es el ángulo entre el rayo incidente y la normal a la superficie reflejante (véase la Fig. 1 para la geometría).

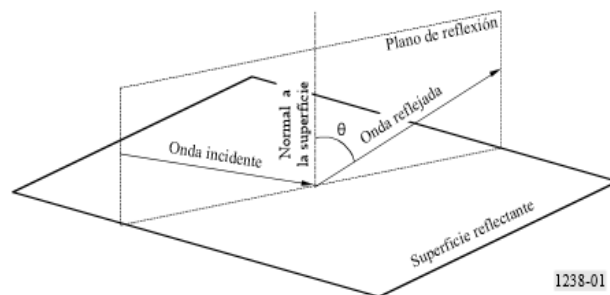
CUADRO 7

## Permitividad compleja de los materiales de construcción para interiores

	1 GHz	57,5 GHz	78,5 GHz	95,9 GHz
Hormigón	7-j0,85	6,5-j0,43	–	6,2-j0,34
Hormigón ligero	2-j0,5	–	–	–
Revestimiento de suelos (resina sintética)	–	3,91-j0,33	3,64-j0,37	3,16-j0,39
Revestimiento de yeso	–	2,25-j0,03	2,37-j0,1	2,25-j0,06
Revestimiento de techos (lana mineral)	1,2-j0,01	1,59-j0,01	1,56-j0,02	1,56-j0,04
Vidrio	7-j0,1	6,81-j0,17	–	–
Fibra de vidrio	1,2-j0,1	–	–	–

FIGURA 1

Geometría para calcular las características de la reflexión



1238-01

Las fórmulas anteriores se aplican cuando las pérdidas de penetración del material de construcción son de tal magnitud que no se refleja ninguna onda significativa en la superficie reflectante. Si este no es el caso debe tenerse el efecto de reflexiones internas múltiples dentro del material de construcción.

Cuando el material de construcción está representado por  $N$  planos dieléctricos y el espesor y la permitividad compleja de la  $m$ -ésima capa ( $m = 1, 2, \dots, N$ ) se representan como  $d_m$  y  $\eta_m$  respectivamente, los coeficientes de reflexión y transmisión vienen dados por las siguientes fórmulas:

$$R_N = \frac{B_0}{A_0}, \quad R_P = \frac{G_0}{F_0}, \quad T_N = \frac{1}{A_0}, \quad T_P = \frac{1}{F_0} \quad (6a)-(6d)$$

En este caso  $A_0$ ,  $B_0$ ,  $F_0$ , y  $G_0$ , se determinan mediante las siguientes fórmulas de recursión:

$$A_m = \frac{\exp(\delta_m)}{2} [A_{m+1}(1 + Y_{m+1}) + B_{m+1}(1 - Y_{m+1})] \quad (7a)$$

$$B_m = \frac{\exp(-\delta_m)}{2} [A_{m+1}(1 - Y_{m+1}) + B_{m+1}(1 + Y_{m+1})] \quad (7b)$$

$$F_m = \frac{\exp(\delta_m)}{2} [F_{m+1}(1 + W_{m+1}) + G_{m+1}(1 - W_{m+1})] \quad (7c)$$

$$G_m = \frac{\exp(-\delta_m)}{2} [F_{m+1}(1 - W_{m+1}) + G_{m+1}(1 + W_{m+1})] \quad (7d)$$

$$A_{N+1} = 1, B_{N+1} = 0, F_{N+1} = 1, G_{N+1} = 0 \quad (8a)-(8d)$$

$$W_{m+1} = \frac{\cos \theta_{m+1}}{\cos \theta_m} \sqrt{\frac{\eta_m}{\eta_{m+1}}}, \quad Y_{m+1} = \frac{\cos \theta_{m+1}}{\cos \theta_m} \sqrt{\frac{\eta_{m+1}}{\eta_m}}, \quad \eta_0 = \eta_{N+1} = 1 \quad (9a)-(9c)$$

$$\delta_m = jk_m d_m \cos \theta_m, \quad k_m = \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{\eta_m}, \quad k_0 = k_{N+1} = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (10a)-(10c)$$

donde:

$\lambda$ : longitud de onda en el espacio libre

$\theta_m$ : ángulo de refracción en la  $m$ -ésima capa

$\theta_{N+1}$ : ángulo de refracción en el aire a la derecha del último plano límite.

Para el caso especial en que hay solo una capa, las fórmulas (6) pueden simplificarse de la siguiente manera:

$$R = \frac{1 - \exp(-j2\delta)}{1 - R'^2 \exp(-j2\delta)} R' \quad (\text{coeficiente de reflexión}) \quad (11a)$$

$$T = \frac{(1 - R'^2) \exp(-j(\delta - k_0 d))}{1 - R'^2 \exp(-j2\delta)} \quad (\text{coeficiente de transmisión}) \quad (11b)$$

siendo:

$$\delta = \frac{2\pi d}{\lambda} \sqrt{\eta - \sin^2 \theta} \quad (12)$$

donde  $d$  es el espesor del material de construcción. En las ecuaciones (11a) y (11b),  $R'$  viene dado por  $R_N$  o  $R_p$ , dependiendo de la polarización de la onda del campo electromagnético incidente.

En bandas de ondas milimétricas, el acabado de una superficie, como por ejemplo la pintura, debe considerarse como una de las capas de dieléctrico.

Las reflexiones especulares de los materiales del suelo tales como entarimado de suelo y placas de hormigón se reducen considerablemente en las bandas de ondas milimétricas cuando los materiales se recubren con alfombras de superficie rugosa. Pueden obtenerse disminuciones similares poniendo cortinas en las ventanas. En consecuencia, cabe esperar que los efectos propios de los materiales cobren importancia a medida que aumenta la frecuencia.

Además de las estructuras esenciales del edificio, el mobiliario y otros accesorios pueden afectar también significativamente a las características de propagación en interiores. Pueden considerarse como obstrucciones y se consideran en el modelo de pérdida de trayecto del § 3.

## 8 Efecto de los movimientos de los objetos en una sala

El movimiento de personas y objetos en una sala ocasiona variaciones temporales de las características de propagación en interiores. Sin embargo, estas variaciones son muy lentas en comparación con la velocidad de datos utilizada normalmente y, en consecuencia, pueden considerarse prácticamente como una variable aleatoria independiente del tiempo. Aparte de las personas situadas a proximidad de las antenas o en el trayecto directo, el movimiento de las personas en las oficinas y otros lugares dentro y fuera del edificio tienen un efecto desdenable en las características de propagación.

Las mediciones efectuadas con ambos terminales del enlace en posición fija indican que el desvanecimiento se produce en ráfagas (los datos estadísticos recogidos tienen un carácter marcadamente no estacionario), y se debe bien a la perturbación de las señales de trayectos múltiples en las zonas que rodean a un determinado enlace, o al ensombrecimiento provocado por el paso de personas a través del enlace.

Las mediciones realizadas a 1,7 GHz indican que una persona que se introduce en el trayecto de una señal de visibilidad directa ocasiona una disminución de 6 a 8 dB del nivel de potencia recibida, y que el valor  $K$  de la distribución de Nakagami-Rice se reduce considerablemente. En condiciones sin visibilidad directa, el movimiento de personas cerca de las antenas no afecta apreciablemente al canal.

En el caso de un terminal portátil, la proximidad de la cabeza y el cuerpo del usuario afecta al nivel de la señal recibida. A 900 MHz y con una antena dipolo, las mediciones revelan que la intensidad de la señal recibida se reduce de 4 a 7 dB cuando el terminal se mantiene a nivel de la cintura, y de 1 a 2 dB cuando el terminal se mantiene a la altura de la cabeza del usuario, con respecto a la intensidad de la señal recibida cuando la antena está situada a varias longitudes de onda del cuerpo.

Cuando la altura de la antena es inferior a 1 m aproximadamente, por ejemplo, en el caso de una aplicación característica de ordenador portátil o de mesa, el trayecto de visibilidad directa puede verse ensombrecido por personas que se desplazan en la vecindad del terminal del usuario. Para estas aplicaciones de datos revisten interés tanto la profundidad como la duración de los desvanecimientos. Las mediciones efectuadas a 37 GHz en un entorno de oficina interior han demostrado que con frecuencia se observan desvanecimientos de 10 a 15 dB. La duración de estos desvanecimientos debidos al ensombrecimiento producido por los cuerpos de personas que se mueven continuamente de manera aleatoria a través del trayecto con visibilidad directa sigue una distribución logarítmico-normal, en virtud de la cual la desviación media y normalizada dependen de la profundidad del desvanecimiento. Para esas mediciones, a una profundidad de desvanecimiento de 10 dB, la duración media fue de 0,11 s y la desviación normalizada de 0,47 s. A una profundidad de desvanecimiento de 15 dB, la duración media fue de 0,05 s y la desviación normalizada de 0,15 s.

---

## ANEXO 7-. Certificado de ACEPTACIÓN DE PROYECTO



SOCIEDAD CIVIL M&S TELEVISION Y SERVICIOS  
RUC. 1791796608001  
MATRIZ: MIGUEL VALVERDE 212 Y ROBINSON

### CERTIFICACIÓN

La Gerencia General de la empresa SOCIEDAD CIVIL M&S TELEVISIÓN Y SERVICIOS con su representante legal Ing. Vicente Bolívar Sánchez Haro certifican que el señor PATRICIO GERMÁNICO CAISASUANO PÉREZ con cédula de identidad N° 1714752811, realizó y concluyó el Proyecto con el tema: **Diseño, y simulación de un WISP Wireless Internet Service Provider para la ciudad de Pedernales en Manabí Ecuador.** Dicho proyecto en su culminación cumple con los requerimientos, normas y parámetros requeridos por la empresa, para su implementación en la ciudad de Pedernales.

Es todo cuanto puedo informar en honor a la verdad

Quito, 03 de junio del 2017.

Ing. Vicente Sánchez Haro  
Tel: 0999660616  
Email: vicentesh600@gmail.com  
**GERENTE GENERAL**

**SOCIEDAD CIVIL**  
**M & S**  
TELEVISIÓN Y SERVICIOS  
R.U.C. 1791796608001